corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 24 - 31 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 13° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

TRASFORMATORI

L'uso appropriato dell'energia elettrica, così come quello dell'energia meccanica, richiede spesso l'impiego di dispositivi atti a convertire l'energia disponibile alla sorgente in una forma di energia meglio utilizzabile dal carico. Ad esempio, una scatola di rapporti meccanici ad ingranaggi, posta tra un motore ed una sega circolare, può avere caratteristiche tali da far sì che detta sega lavori lentamente (ma con notevole forza) oppure velocemente (ma con minor potenza), a seconda delle necessità derivanti dalla qualità e dalla durezza del materiale in lavorazione. Analogamente, è spesso necessario predisporre i circuiti elettrici in modo che la potenza disponibile possa comportarsi, nei confronti del carico, come la più appropriata fra le tante combinazioni di valori di tensione e corrente — in altre parole — tra tutte le combinazioni comprese tra un'alta tensione, con debole corrente, o una notevole corrente con bassa tensione.

Il dispositivo elettrico che compie la funzione paragonabile a quella della scatola di rapporti meccanici ad ingranaggi, si chiama **trasformatore.** Esso trasforma la potenza elettrica disponibile variando il rapporto tensione-corrente. È tuttavia opportuno notare subito che nè il dispositivo meccanico, nè quello elettrico possono modificare la quantità di potenza a disposizione.

Il funzionamento di un trasformatore è basato sul principio dell'induzione elettromagnetica, e di essa, così come del trasformatore stesso nella sua più ampia definizione, ci siamo già occupati, perciò il lettore dovrebbe già avere un concetto abbastanza chiaro dell'organo in oggetto. Il trasformatore consiste in uno o più avvolgimenti, reciprocamente influenzati dalla corrente che li percorre, nel senso che — essendo accoppiati induttivamente — la corrente che percorre un avvolgimento induce una tensione nell'altro o negli altri. Ciò prova che esiste un'induttanza mutua tra detti avvolgimenti.

La **figura 1** illustra lo schema di principio: un avvolgimento — che sappiamo essere detto *primario* — è collegato alla sorgente d'energia, mentre un altro avvolgimento, il *secondario* — che riceve la tensione indotta — è collegato al carico di utilizzazione. La potenza erogata dal generatore passa attraverso il trasformatore ed alimenta il carico, nonostante l'assenza di qualsiasi collegamento diretto fra i due circuiti; il passaggio avviene — ripetiamo — per induzione. Ne consegue che la potenza consumata dal primario equivale a quella dissipata dal secondario, ossia $P_p = P_s$. Se gli avvolgimenti del trasformatore fossero troppo lontani tra loro, o comunque, completamente schermati tra loro, non avrebbe luogo alcun passaggio di energia ed il trasformatore sarebbe inutile.

Per ottenere il massimo trasferimento di energia dal primario al secondario, è necessario perciò che **l'accoppiamento sia il più stretto possibile.** Tutte le linee di forza prodotte dal campo magnetico del primario, debbono poter influenzare l'avvolgimento secondario. Per questo motivo quest'ultimo è spesso avvolto direttamente sul primo, mediante la semplice interposizione di un sottile strato di materiale isolante.

Dal momento che la riluttanza dell'aria è massima e la sua permeabilità è minima, l'introduzione all'interno degli avvolgimenti di un nucleo di ferro ad alta permeabilità in sostituzione dell'aria, aumenta l'accoppiamento del flusso tra le bobine e rende possibile il massimo trasferimento di energia richiesto.

Alcune linee di forza però, nonostante l'uso di un nucleo ad alta permeabilità, vengono disperse — in quanto non riescono a raggiungere il secondario — rappresentando così una perdita: tale perdita impedisce al trasformatore di costituire un mezzo di trasferimento d'energia perfetto al 100%. Ciononostante, un trasformatore accuratamente progettato può consentire il trasferimento del 98% dell'energia che circola nel suo primario, il che significa in altre parole che K — coefficiente di accoppiamento tra le bobine — ammonta a 0,98.

La **figura 2** illustra un trasformatore tipico con nucleo di ferro. Le linee di flusso create dal primario si ripercuotono, come si vede, sul secondario, grazie alla bassa riluttanza del circuito magnetico. Nella figura è possibile notare anche il flusso disperso di cui si è fatto cenno. La **figura 3-A** mostra il tipo di nucleo ferroso cosiddetto a «mantello». Esso è il tipo più comunemente usato. La figura 3-**B** illustra la sezione trasversale dell'avvolgimento nel suo aspetto convenzionale. Ogni strato dell'avvolgimento è separato da quello sottostante e da quello soprastante mediante sottili fogli di carta paraffinata; l'avvolgimento primario è separato dal secondario mediante uno strato di carta o di cartoncino di maggiore spessore, a volte imbevuto di una speciale vernice isolante.

TEORIA sul FUNZIONAMENTO di un TRASFORMATORE

L'attitudine da parte di un trasformatore a trasferire l'energia dal primario al secondario, grazie all'effetto di accoppiamento del flusso, è dovuta — come si è det-

Fig. 1 — Schema di principio del trasformatore. Un avvolgimento, « Primario », è connesso alla sorgente di corrente; un altro avvolgimento, « Secondario », è connesso al carico di utilizzazione. L'induzione trasferisce l'energia dal primario al secondario. Per le correnti a frequenza di rete o a Bassa Frequenza, l'aria all'interno degli avvolgimenti offre un'alta riluttanza: si introduce allora un nucleo di ferro (sbarre verticali, nel disegno) che aumenta la permeabilità e quindi l'accoppiamento.

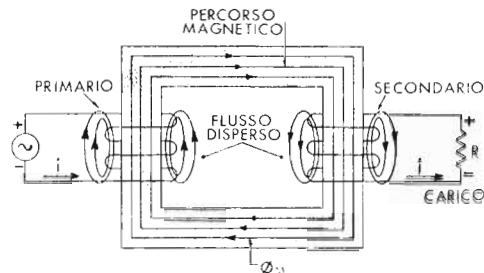



Fig. 2 — La figura pone in evidenza come il nucleo di ferro al quale si è fatto cenno determini il percorso del flusso magnetico tra avvolgimento primario ed avvolgimento secondario. È posta in evidenza anche quella parte di flusso che non raggiunge l'altro avvolgimento e che è detta « flusso disperso ».

to — all'accoppiamento induttivo, ossia all'induttanza mutua. Per questo, logicamente, l'induttanza di ognuno degli avvolgimenti deve essere la massima possibile. Se il trasformatore potesse essere realizzato in una esecuzione ideale (ossia con avvolgimenti aventi addirittura una induttanza infinita), la reattanza induttiva del primario sarebbe infinita per qualsiasi frequenza della c.a. In pratica, alla normale frequenza della rete di distribuzione dell'energia elettrica, ad esempio, l'induttanza del primario, che non può invero essere infinita, deve essere ciononostante abbastanza elevata da presentare alla tensione in arrivo una reattanza apprezzabile. Se, ad esempio, il nucleo di ferro di un trasformatore funzionante con una frequenza di 50 Hz venisse asportato, la reattanza induttiva diminuirebbe notevolmente: il circuito primario lascerebbe passare una corrente notevole anche senza carico alcuno applicato al secondario.

La corrente magnetizzante che circola in assenza di carico nell'avvolgimento primario di un trasformatore deve essere mantenuta al valore più basso possibile, in quanto costituisce una perdita. Che essa sia una perdita è intuitivo dato che, in assenza di carico, l'energia così dissipata non è affatto necessaria.

Maggiore è l'induttanza e maggiore è la reattanza, e — nello stesso tempo — minore è la corrente magnetizzante occorrente per determinare il necessario accoppiamento induttivo.

L'importanza della reattanza del primario e l'effetto del secondario su di essa, possono essere compresi mediante un'analisi graduale. Nella **figura 4-A** è illustrato un trasformatore semplice, con un avvolgimento primario ed un avvolgimento secondario avvolti su di un nucleo di ferro dolce. Il primario è collegato ad una sorgente di c.a., mentre il secondario viene lasciato aperto affinchè i suoi effetti non abbiano una influenza apprezzabile nella prima parte della nostra analisi. In questo caso il primario non è in realtà che una semplice induttanza con nucleo magnetico e, come tale, offre una reattanza induttiva alla sorgente. La corrente, che dipende dall'ammontare di detta reattanza, determina la presenza di un campo magnetico variabile nel nucleo. La corrente e la tensione sono sfasate di 90°, con ritardo da parte della corrente.

La direzione delle linee di flusso viene determinata mediante la nota regola della mano sinistra. Si crea pertanto una forza elettro motrice, *Ep'*, opposta alla tensione applicata, *Ep*, e sfasata di 180° rispetto ad essa, con uno sfasamento di 90° rispetto alla corrente primaria, *Ip*, che è in ritardo, come si è detto sopra e come è illustrato dal diagramma vettoriale alla figura **4-B.**

Nella **figura 5-A**, viene illustrato il medesimo trasformatore, nella rappresentazione sul secondario di detto effetto relativo all'azione del primario (per semplificazione, non è riportata la rappresentazione dell'effetto al primario). È facile constatare che il secondario costituisce di per se stesso una semplice induttanza nella quale è indotta una tensione a causa del flusso variabile prodotto dal primario. Tale tensione indotta ha la medesima direzione della f.e.m. opposta del primario. Il circuito secondario è rappresentato chiuso da una resistenza in modo che in esso possa scorrere una certa corrente.

La tensione indotta si comporta come se provenisse da un generatore collegato in serie al secondario considerato come un'induttanza. La corrente che percorre il secondario è perciò in ritardo di 90° rispetto alla tensione, così come è illustrato, ricorrendo ai vettori, alla figura 5-**B**. È importante notare che la direzione iniziale della tensione è la medesima della f.e.m. opposta del primario, di cui alla figura 4-B.

Nel medesimo istante considerato per l'analisi del primario, la corrente secondaria e le linee di forza sono nella direzione illustrata nella figura 5-A (regola della mano sinistra). Le linee di flusso create dalla corrente secondaria sono in direzione opposta rispetto a quelle create dalla corrente primaria. La corrente secondaria I_s, diminuisce perciò l'impedenza del circuito primario, opponendosi alle linee di flusso prodotte dalla corrente primaria. Quest'ultima è costretta ad aumentare in proporzione onde mantenere l'accoppiamento tra i due avvolgimenti.

Se il carico collegato al secondario fa aumentare la corrente che circola in esso, aumenta di conseguenza anche la corrente primaria prelevata dalla sorgente di alimentazione. L'opposizione tra le linee di forza di un trasformatore si accorda con la **legge di Lenz**, secondo la quale **una tensione indotta** (e la corrente da essa risultante) **è sempre in direzione tale da opporsi alla forza che la determina.** Se l'influenza del secondario fosse tale infatti da « aiutare » le linee di flusso provocate dal primario, un aumento della corrente secondaria provocherebbe

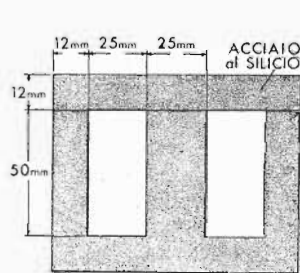



Fig. 3A — Il nucleo di ferro in pratica assume spesso questa forma ed è costituito da un assieme di « lamierini » di ferro al silicio sovrapposti: sono riportate delle misure dimensionali ai fini indicativi dei rapporti.

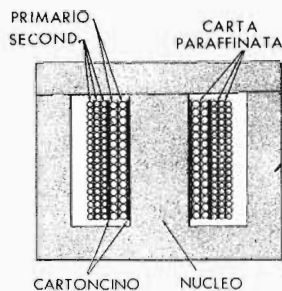



Fig. 3B — Gli avvolgimenti, primario e secondario, sono disposti uno sopra all'altro e sono visti qui, in sezione. Essi sono avvolti a parte, e poi collocati attorno al gambo centrale del lamierino.

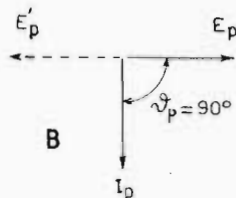
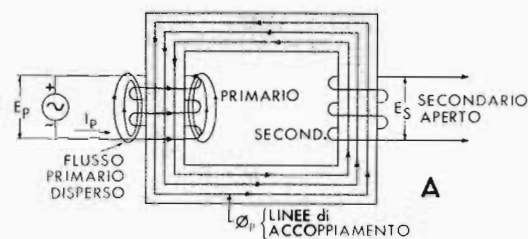



Fig. 4A e B — Col secondario aperto, il primario è in realtà una semplice induttanza: in essa si crea perciò una tensione opposta alla tensione applicata (vedi diagramma vettoriale).

un aumento delle linee di flusso ed un aumento dell'induttanza (quindi della reattanza induttiva del primario) nonchè una corrispondente diminuzione della corrente primaria; ciò è assurdo, in quanto, in tal caso, il secondario erogherebbe al carico una potenza maggiore di quella che il primario riceve dalla sorgente.

L'effetto del secondario sul primario può essere considerato anche sotto un altro punto di vista.

La corrente secondaria determina una f.e.m. di autoinduzione, ossia una f.e.m. opposta, Es' nel secondario stesso; tale f.e.m. è in opposizione di fase (180°) rispetto alla tensione secondaria. Contemporaneamente, detta corrente secondaria determina anche una tensione indotta nel primario, in fase con la f.e.m. opposta cui ci siamo riferiti.

Dal momento che la tensione indotta nel primario è sfasata di 180° rispetto ad Es — ossia alla tensione del secondario — essa è in fase con Ep, ossia con la tensione applicata al primario, e sfasata di 180° rispetto ad Ep', ossia la f.e.m. opposta del primario. L'effetto della corrente secondaria consiste perciò nell'eliminare in certo qual modo la tensione opposta primaria, vale a dire nell'aumentare la tensione applicata, permettendo il passaggio di una corrente più intensa nel primario stesso. Tali tensioni indotte sono messe in evidenza con linee tratteggiate nei diagrammi vettoriali B delle figure 4 e 5.

Possiamo ora analizzare il completo funzionamento del trasformatore, in funzione dei diagrammi vettoriali della **figura 6.** In essa, alla sezione **B**, si ha l'espressione vettoriale delle tensioni e delle correnti per una data corrente circolante nel secondario del circuito illustrato nella sezione **A.**

Le tensioni ai capi del trasformatore sono reciprocamente sfasate di 180° e pure di 180° sono sfasate tra loro le correnti. L'angolo di fase tra la tensione e la corrente del primario è di 90° con ritardo da parte della corrente; la stessa cosa avviene contemporaneamente nel secondario.

Come Ro — resistenza di carico — diminuisce, si dice che il carico aumenta con un corrispondente aumento della corrente secondaria. Dato che Ro è direttamente in parallelo al secondario, la corrente resistiva aumenta ed il circuito diventa sempre più resistivo; in altre parole, la tensione e la corrente nel secondario tendono ad avvicinarsi di fase, e l'angolo di fase ϑs si avvicina a 0 gradi.

Dal momento che la corrente primaria aumenta per un aumento della corrente secondaria — come si è detto precedentemente — la reattanza induttiva del primario ha in realtà subito una diminuzione, per cui il circuito diventa maggiormente resistivo. Da ciò consegue che la tensione e la corrente dell'intero circuito primario tendono ad essere in fase, ossia l'angolo ϑp si approssima a 0 gradi.

Il diagramma vettoriale della figura 6-**C** illustra queste relazioni di fase per il trasformatore della sezione A della figura stessa, funzionante con un carico corrispondente a quello per il quale è stato calcolato. Un trasformatore ideale avrebbe le espressioni vettoriali della corrente e della tensione coincidenti tra loro, (ossia ϑs e $\vartheta p = 0°$), per cui, in ognuno dei lati, la tensione e la corrente sarebbero in fase tra loro, e la tensione e la corrente secondarie sarebbero sfasate di 180° rispetto alla tensione ed alla corrente primaria. Un trasformatore di tal genere permetterebbe un perfetto trasferimento di energia, di modo che il generatore di tensione troverebbe nel carico una resistenza equivalente pura (quasi come se il trasformatore non fosse collegato nel circuito) ma tuttavia con sfasamento di 180° per la tensione e la corrente.

RAPPORTO SPIRE: TENSIONE

Nello studio dell'induttanza effettuato precedentemente, l'ampiezza totale della f.e.m. indotta in una bobina è stata illustrata come dipendente dal numero delle spire e dal rapporto di variazione del flusso di accoppiamento del circuito; ciò è reso dalla formula:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Dal momento che il rapporto della variazione di flusso dipende dalla frequenza della corrente erogata dal generatore, l'ampiezza della tensione indotta in ognuno degli avvolgimenti del trasformatore dipende direttamente dal numero delle spire. In conseguenza, la f.e.m. indotta da una corrente variabile nel primario, non è eguale a quella indotta nel secondario, a meno che il numero delle spire primarie non sia eguale a quello delle spire secondarie. Inoltre, dal momento che la f.e.m. indotta di ritorno nel primario è eguale alla tensione applicata, è possibile stabilire un rapporto per determinare la f.e.m.

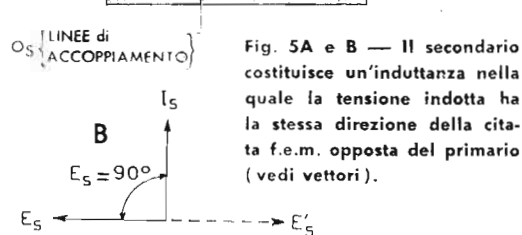
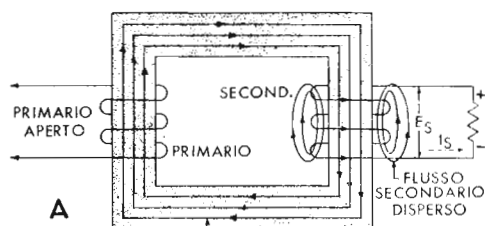



Fig. 5A e B — Il secondario costituisce un'induttanza nella quale la tensione indotta ha la stessa direzione della citata f.e.m. opposta del primario (vedi vettori).

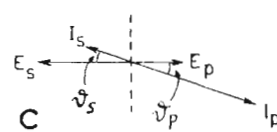
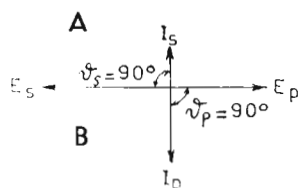
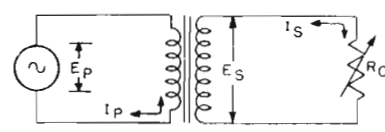



Fig. 6 A-B-C — In A, circuito del trasformatore, di cui in B è la rappresentazione vettoriale completa di tensioni e correnti, ed in C i vettori conseguenti alla resistenza di carico.

Fig. 7 — Trasformatore con rapporto di spire 4. Nel caso illustrato è detto « in salita ». Si hanno 0,44 volt/spira.

indotta nel secondario in funzione della tensione applicata e del rapporto tra le spire dei due avvolgimenti. Perciò:

$$\frac{E_p}{N_p} = \frac{E_s}{N_s}$$

nella quale E_p è la tensione applicata al primario, N_p il numero delle spire primarie, E_s la tensione indotta nel secondario ed N_s il numero delle spire secondarie.

Tale equazione può essere trascritta nel modo seguente:

$$E_pN_s = E_sN_p \quad \text{ossia} \quad E_s = \frac{E_pN_s}{N_p}$$

L'espressione $N_s:N_p$ o $N_p:N_s$ si chiama **rapporto tra le spire**, e può essere espressa come un singolo fattore. La **figura 7** illustra lo schema di un trasformatore avente 1000 spire al secondario e 250 al primario. Il rapporto tra le spire è quindi di 4:1, ossia 4. Se al primario di questo trasformatore si applica una tensione alternata di 110 volt, la tensione indotta nel secondario sarà pari a:

$$E_s = \frac{E_pN_s}{N_p} = \frac{110\times1000}{250} = 110\times4 = 440 \text{ volt.}$$

Un trasformatore di questo tipo viene detto *in salita*. Se il rapporto $N_s:N_p$ è inferiore ad 1, l'avvolgimento secondario ha un numero di spire inferiore del primario, per cui anche la tensione secondaria è inferiore a quella primaria; in questo caso, il trasformatore è detto *in discesa*.

È tuttavia opportuno notare che le espressioni « in salita » e « in discesa », nel senso inteso per i trasformatori, sono sempre riferite al livello di tensione e non a quello della corrente nè a quello della potenza, in quanto quest'ultimo livello, in un trasformatore accuratamente calcolato, viene considerato pressochè eguale sia al primario che al secondario.

Dal momento che la tensione indotta nel secondario è direttamente proporzionale al numero delle spire del secondario nei riferimenti di quelle del primario, il rapporto tra le tensioni primaria e secondaria di un dato trasformatore può essere calcolato determinando il numero di **volt per spira.** Così nell'esempio precedente, una tensione di 110 volt applicata ad un primario di 250 spire determina un rapporto di 0,44, ossia: volt/spira $= \frac{110}{250} = 0{,}44$.

Dal momento che il numero di volt per spira è un fattore costante per ogni dato trasformatore, la tensione nell'avvolgimento secondario può essere determinata moltiplicando tale costante per il numero di spire secondarie, ossia:

$$E_s = 1000\times0{,}44 = 440 \text{ volt}$$

Il rapporto volt per spira è comodo anche per determinare qualsiasi numero di tensioni secondarie nel caso in cui il trasformatore abbia più di un avvolgimento secondario. Ad esempio, la **figura 8** mostra la rappresentazione schematica di un trasformatore nel quale il primario è accoppiato con un certo numero di avvolgimenti secondari. Detto primario consiste di 200 spire, l'avvolgimento secondario *S1* ha 1200 spire, *S2* ne ha 850, *S3* ne ha 11 ed infine *S4* ne ha 22. Il fattore volt per spira di questo trasformatore è $E_p:N_p$, ossia 110:200, ed equivale a 0,55. Le tensioni indotte nei secondari sono dunque le seguenti:

$$E_s1 = 1200\times0{,}55 = 660 \text{ volt}$$
$$E_s2 = 850\times0{,}55 = 467{,}5 \text{ volt}$$
$$E_s3 = 11\times0{,}55 = 6{,}05 \text{ volt}$$
$$E_s4 = 22\times0{,}55 = 12{,}1 \text{ volt}$$

RAPPORTO SPIRE: CORRENTE

Nel trasferimento di potenza elettrica mediante un trasformatore ideale, la potenza assorbita dal primario può essere considerata eguale a quella erogata dal secondario, per cui:

$$P_p = P_s$$

In questo caso il carico si comporta come una resistenza pura nei confronti del generatore, come abbiamo detto precedentemente, e la potenza apparente è eguale a quella effettiva. Ne consegue che il fattore di potenza di quel trasformatore è eguale ad 1 e l'angolo di fase è di 0°. Perciò, la potenza dissipata in ognuno degli avvolgimenti corrisponde al fattore volt-ampère, ossia:

$$P_p = E_pI_p$$
$$P_s = E_sI_s$$

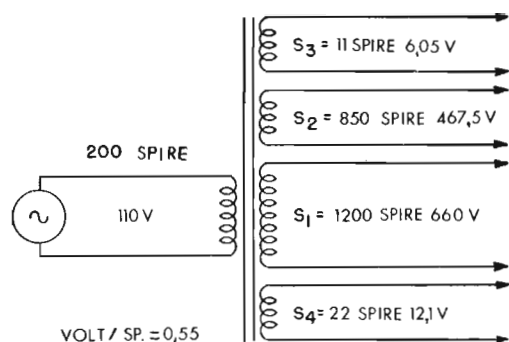



Fig. 8 — Trasformatore con rapporto volt/spira di 0,55. Mediante il citato rapporto, è facile calcolare tutte le tensioni secondarie.

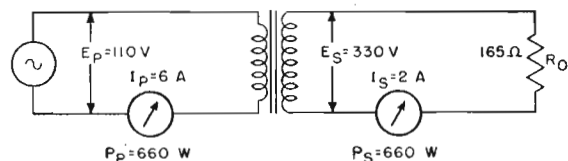



Fig. 9 — Supposto un trasformatore con rapporto spire 3 a 1, se al primario si hanno 110 volt, al secondario si hanno 330 volt. La corrente al secondario (per carico puramente resistivo di 165 ohm) è di 2 ampère; quella al primario è di 2A × 3 (rapporto) = 6 ampère. Perciò la potenza primaria (110 × 6 = 660 watt) è eguale a quella secondaria (330 × 2 = 660 watt).

per cui:

$$E_pI_p = E_sI_s$$

e, trascrivendo:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{E_s}{E_p}$$

Tuttavia, il rapporto tra la tensione secondaria e quella primaria equivale al rapporto tra le spire, ossia:

$$E_s : E_p = N_s : N_p$$

per cui il rapporto tra la corrente primaria e quella secondaria equivale pure al rapporto tra le spire:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

ossia:

$$I_p = I_s \left(\frac{N_s}{N_p}\right)$$

Esaminando la cosa sotto un altro punto di vista, le relazioni tra la corrente ed il numero delle spire possono essere determinate considerando gli ampère per spira del trasformatore a sua volta considerato come un elettromagnete. Nello studio compiuto sull'elettromagnetismo, abbiamo detto che la potenza di un elettromagnete può essere espressa in ampèrspire. Le linee di flusso determinate nel nucleo di un trasformatore da una data corrente, magnetizzante, nel primario sono direttamente proporzionali a N volte I, gli ampère-spire. Sappiamo dalla legge di Lenz che la tensione indotta nel secondario e la corrente che in ogni istante ne deriva, creano delle linee di flusso eguali ed opposte a quelle primarie. Dal momento che tale trasformatore è considerato ideale, l'accoppiamento del flusso è completo, e:

$$N_pI_p = N_sI_s$$

per cui:

$$I_p = N_s$$

e:

$$I_s = N_p$$

ossia:

$$I_p = \frac{I_sN_s}{N_p}$$

Si può osservare allora che la corrente circolante in un trasformatore varia in maniera inversamente proporzionale al numero delle spire. La **figura 9** illustra, ad esempio, un semplice trasformatore d'alimentazione avente 300 spire al primario e 900 al secondario, collegato rispettivamente ad una tensione di linea di 110 volt e ad un carico di 165 ohm. Come possiamo subito vedere, il rapporto tra le spire è 3 a 1, ed E_s equivale a 330 volt. Quindi, dal momento che il carico determina la quantità di energia utilizzata, la corrente nel secondario è:

$$I_s = \frac{E_s}{R_o} = \frac{330}{165} = 2 \text{ ampère}$$

La corrente primaria è:

$$I_p = \frac{I_sN_s}{N_p} = 2 \times 3 = 6 \text{ ampère}$$

In questo caso, il rapporto spire 3 a 1 aumenta la tensione applicata da 110 a 330 volt, riducendo nel medesimo tempo la corrente da 6 a 2 ampère. Da tale constatazione. è facile notare che il prodotto tra la tensione e la corrente relativa ad un avvolgimento di un trasformatore ideale, è eguale al prodotto tra la tensione e la corrente dell'altro avvolgimento. La potenza primaria perciò equivale a 110 volte 6, ossia 660 watt, ed analogamente la potenza secondaria equivale a 330 volte 2, ossia 660 watt.

PERDITE nei TRASFORMATORI - RENDIMENTO

Fino ad ora, abbiamo considerato il caso del trasformatore ideale. Il rendimento di un tale trasformatore ammonta al 100% di efficienza; ciò significa che il rapporto tra la potenza d'uscita e quella di entrata è 1. In pratica, i trasformatori avvolti su nucleo ferroso non possono avere un rendimento del 100%, ma, se progettati con cura, come abbiamo detto, il loro rendimento raggiunge tuttavia valori molto alti, variabili dal 95 al 98%. Questa notevole efficienza è possibile perchè normalmente si presta la massima attenzione onde mantenere al minimo le perdite effettive dovute alla dispersione di flusso, all'isteresi, alle correnti di Foucalt, al flusso di saturazione del nucleo, nonchè alla resistenza del rame dell'avvolgimento ed alla capacità distribuita.

Quando si usa del ferro come nucleo di un trasformatore, detto ferro viene evidentemente sottoposto ad un

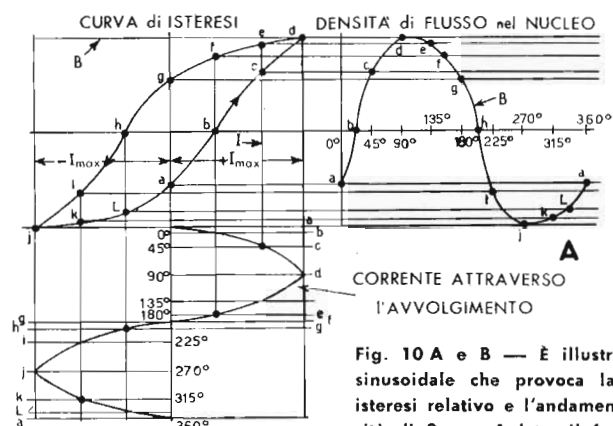



Fig. 10 A e B — È illustrato l'andamento della corrente sinusoidale che provoca la magnetizzazione, il nodo di isteresi relativo e l'andamento o curva risultante della densità di flusso. A lato, il ferro in esame per il quale Ampère/spire = N×I.

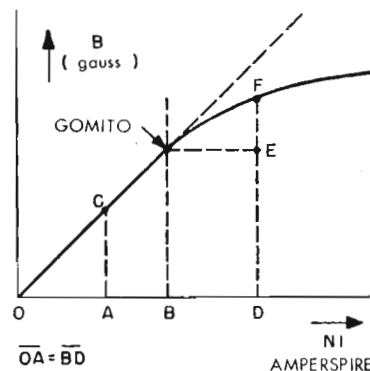
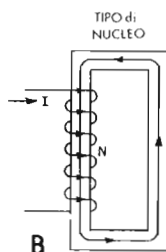



Fig. 11 — Andamento della magnetizzazione. L'aumento di corrente O-A provoca A-C mentre, dopo il gomito, eguale aumento (B-D) provoca solo E-F.

campo magnetico variabile. Il magnetismo prodotto nel metallo dal campo magnetico è in ritardo rispetto alla forza magnetica stessa. Dato che gli atomi del ferro non mutano facilmente la loro posizione — cosa necessaria quando esso viene magnetizzato — per provocare lo spostamento è necessaria una forza magnetica, ed ecco che una parte della corrente applicata viene utilizzata (ed è una perdita) per variare lo stato di magnetizzazione del nucleo. Le perdite di questo genere, dette **perdite di isteresi magnetica**, sono una specie di « frizione magnetica », e, come la frizione meccanica, producono calore. Affinchè l'entità di tali perdite magnetiche (di isteresi) sia minima, si impiega ferro dolce con un'alta percentuale di silicio.

Inoltre, essendo il ferro un buon conduttore, il campo magnetico variabile vi induce delle correnti circolanti. Queste correnti parassite, costituiscono uno spreco di energia in quanto scorrono attraverso la resistenza di ferro producendo calore. Tali correnti vengono parzialmente neutralizzate, sia dividendo il nucleo in sottili lamine dette *lamierini*, i quali vengono isolati uno dall'altro, sia usando nuclei di ferro polverizzato. Il primo sistema viene usato per le basse frequenze, ed il secondo per le alte, fino a 100 MHz.

Le correnti parassite e le perdite per isteresi aumentano rapidamente con l'aumentare della frequenza della corrente; è per questo che i nuclei a lamierini possono essere usati per frequenze fino ad un massimo di 16.000 Hz. Nelle gamme delle radiofrequenze il campo magnetico crolla e si espande molto rapidamente, per cui le perdite in questione diventano eccessive. Per questo motivo i nuclei dei trasformatori per AF sono generalmente ad aria o a speciale polvere di ferro.

Oltre alle perdite per isteresi, i nuclei ferrosi presentano perdite di **saturazione.** Accade che il numero delle linee di forza nel nucleo raggiunga a volte un valore tale che un aumento della corrente non può determinare una ulteriore magnetizzazione, o quanto meno l'accrescersi della magnetizzazione è inferiore a quello che l'incremento della corrente dovrebbe provocare.

Le **figure 10** ed **11** illustrano l'andamento della magnetizzazione nel ferro. La figura 11 non è che un grafico della densità di flusso riferita ad una corrente continua in aumento progressivo. In corrispondenza del gomito di tale curva, l'aumento della densità di flusso cessa di essere lineare, ed un notevole aumento di corrente determina solo un piccolo aumento della densità stessa. Così, mentre per un aumento di corrente da *O* al punto *A*, la densità di flusso sale da *A* a *C*, per un eguale aumento di corrente da *B* a *D*, la densità di flusso sale soltanto da *E* ad *F*. Da ciò si può dedurre che, aumentando la corrente oltre il gomito di saturazione della curva, si ottiene una notevole perdita di rendimento in quanto il medesimo effetto di magnetizzazione potrebbe essere conseguito con un aumento di corrente molto minore se il nucleo non fosse saturato.

Un aumento di superficie della sezione trasversale del nucleo diminuirebbe la densità di flusso per una data corrente, ma aumenterebbero il peso, il costo e le perdite per isteresi del trasformatore. Per questo motivo la maggior parte dei trasformatori costruiti per il funzionamento con la frequenza di rete funzionano *in prossimità* del punto di saturazione della curva del materiale usato come nucleo.

Abbiamo visto che la permeabilità di un nucleo magnetico cade rapidamente allorchè la densità di flusso supera il valore di optimum. In altre parole ciò significa che, non appena il nucleo si satura, il rapporto di *B* ad *H* (ossia tra la densità di flusso e la forza magnetizzante) che definisce la permeabilità, diventa più piccolo. Inoltre, se nell'avvolgimento scorre una certa quantità di corrente continua, come accade spesso nei trasformatori usati in diversi tipi di circuiti elettronici, essa, come corrente polarizzata, magnetizza il nucleo permanentemente in un senso e riduce le variazioni di magnetizzazione possibili, dovute alla corrente alternata. A causa di ciò le « impedenze » con nucleo di ferro (ad eccezione dei reattori cosiddetti a ferro-saturo) e determinati trasformatori pure a nucleo di ferro, sono progettati in modo che nel circuito magnetico esista un piccolo intervallo d'aria, o interruzione detta **traferro.** La riluttanza di quest'ultimo è perciò molto alta (aria) in confronto a quella del ferro, per cui la riluttanza totale del circuito aumenta col risultato, è vero, di una diminuzione di induttanza, ma con una effettiva riduzione del pericolo di saturazione. Tale traferro deve essere realmente molto piccolo e può essere ottenuto montando i lamierini in modo che le estremità coincidano appena, oppure inserendo un sottile strato di carta o di cartoncino in un punto del circuito magnetico. Naturalmente, in questo caso è neces-

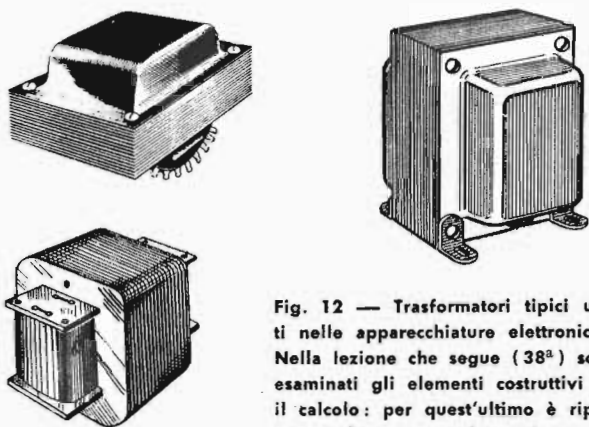



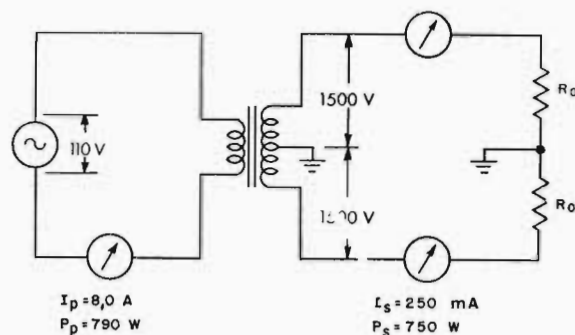
Fig. 12 — Trasformatori tipici usati nelle apparecchiature elettroniche. Nella lezione che segue (38ª) sono esaminati gli elementi costruttivi ed il calcolo: per quest'ultimo è riportato anche un esempio pratico.

Fig. 13 — Trasformatore di media potenza preso ad esempio per il calcolo della potenza primaria considerando il rendimento, e della corrente considerando il fattore di potenza.

sario usare un numero di spire molto maggiore per raggiungere il valore di induttanza che si otterrebbe senza traferro, ma si ottiene il vantaggio di evitare per quanto possibile le perdite per saturazione.

Sia la corrente primaria che quella secondaria devono scorrere attraverso la resistenza ohmica opposta dal conduttore che costituisce l'avvolgimento. Per questo fatto, una certa quantità di potenza effettiva (I^2R) viene dissipata in calore; i trasformatori che funzionano con forti potenze vengono realizzati appunto con conduttori di sezione notevole allo scopo di diminuire tale dissipazione termica, la quale, tra l'altro, abbassa la permeabilità del nucleo ed aumenta la resistenza, aumentando di conseguenza le altre perdite. Tuttavia, poichè un buon accoppiamento induttivo richiede una grande induttanza, è necessario trovare un compromesso tra le dimensioni del nucleo ed il numero delle spire: un grosso nucleo con un piccolo avvolgimento per una data induttanza consentirebbero da un lato un valore basso di perdite nel rame, ma d'altro canto il trasformatore sarebbe pesante ed ingombrante, e le perdite nel nucleo sarebbero notevoli. Il contrario accadrebbe se si usasse un nucleo troppo piccolo: si avrebbero minori perdite nel nucleo, ma perdite maggiori nel rame, dato l'accresciuto numero di spire.

TRASFORMATORI di POTENZA

Si è detto a suo tempo che nel trasferimento dell'energia elettrica a grande distanza si incontrano perdite inevitabili dovute alla resistenza dei conduttori; tali perdite sono proporzionali alla resistenza ed al quadrato della corrente. Ciò significa che, raddoppiando il valore della corrente, le perdite vengono quadruplicate, e che, viceversa, dimezzando la corrente, esse diventano la quarta parte. Risulta evidente che le perdite sono minori quanto minore è la corrente; si ricorre allora, per trasferire l'energia, ad un trasformatore che converte la potenza del generatore in modo tale da avere minima corrente con massima tensione. Nel punto di utilizzazione, un secondo trasformatore funziona in senso inverso e converte l'energia della linea ad alta tensione in tensione più bassa, con forte corrente. Ad esempio, se una potenza di 1000 watt (5 ampère con 200 volt) viene inviata attraverso una linea di 10 ohm, la perdita di potenza è I^2R, ossia 5^2 volte 10, ossia 250 watt. Se si converte tale potenza in modo da avere 0,5 ampère con 2.000 volt, la perdita diminuisce a 2,5 watt con evidente, notevole, vantaggio.

Normalmente, le linee di distribuzione per l'energia elettrica portano tensioni da 10.000 a 300.000 volt: in ogni località esistono cabine di trasformazione, con trasformatori immersi in olio, che convertono tale tensione in quella della rete locale (125 o 220 volt), aumentando l'amperaggio disponibile.

I trasformatori di alimentazione usati negli apparecchi elettronici sono, naturalmente, molto più piccoli di quelli ai quali ci siamo riferiti, pur essendo identico il loro funzionamento. La **figura 12** ne illustra alcuni esemplari. I trasformatori di questo tipo devono funzionare sempre intorno al 90% della portata di carico in quanto, come abbiamo detto, la corrente nel secondario fa sì che tensione e corrente siano in fase, il che riduce l'angolo di fase e approssima il fattore di potenza all'unità. È opportuno ricordare che il fattore di potenza di qualsiasi circuito a c.a. è il coseno dell'angolo di fase, ossia il rapporto tra la potenza effettiva e la potenza apparente, e che è desiderabile contenere la prima entro valori quanto più possibile prossimi alla seconda, allo scopo di evitare la presenza nel circuito di tensioni e correnti eccessive. Ad esempio, qualsiasi trasformatore di alimentazione funzionante con un quinto del suo carico effettivo avrebbe una reattanza induttiva primaria e secondaria considerevoli, per cui le tensioni indotte nei due avvolgimenti sarebbero molto alte con pericolo di scariche e di foratura dell'isolamento, il che porterebbe poi alla bruciatura degli avvolgimenti. A pieno carico invece, la reattanza induttiva del primario viene pressochè eliminata dalla forza magnetizzante opposta determinata dalla corrente secondaria, l'angolo di fase è minimo, e — di conseguenza — il fattore di potenza si approssima all'unità. Qualsiasi reattanza presente costituisce una reattanza di fuga e quindi è una funzione del rendimento del trasformatore. Quest'ultimo, se è ben progettato, ha minima reattanza dispersa e minime perdite, sia nel rame che nel nucleo: è elevato il suo fattore di potenza, vale a dire, il rendimento è massimo. I trasformatori di alimentazione disponibili in commercio hanno un fattore di potenza pari a 0,9 o più, ed un rendimento che si approssima al 95%.

La **figura 13** illustra un trasformatore di potenza. Esso ha un rendimento del 95% ed un fattore di potenza di

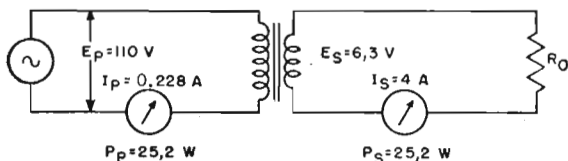



Fig. 14 — Nei trasformatori di piccola potenza, il fattore di rendimento e quello di potenza possono essere trascurati, per cui nell'esempio, i 25,2 watt del secondario sono considerati tali anche al primario; la corrente al primario è ricavata con l'aiuto del rapporto delle tensioni.

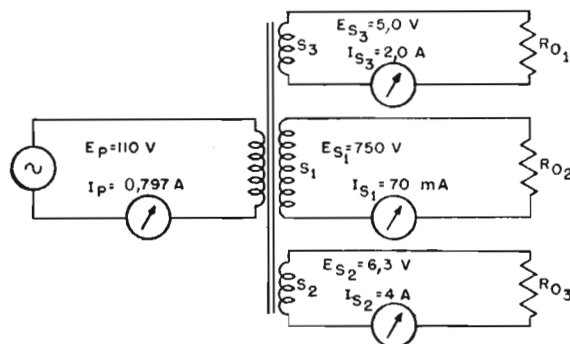



Fig. 15 — In sede di calcolo costruttivo di un trasformatore come quello qui illustrato, tipico degli apparecchi radio, si tiene conto di una differenza tra l'ammontare della potenza primaria e quello della potenza secondaria.

0,9; il secondario eroga 250 mA con 1.500 volt tra il centro ed ognuno degli estremi dell'avvolgimento. La potenza d'uscita è data da:

$$P_s = 3.000 \times 0,25 = 750 \text{ watt}$$

Dal momento che il rendimento è il rapporto tra la potenza effettiva di uscita e quella d'entrata, si ha:

$$\text{Efficienza} = \frac{P \text{ media (secondaria)}}{P \text{ media (primaria)}}$$

$$P \text{ media (primaria)} = \frac{P \text{ media (secondaria)}}{\text{Efficienza}} = \frac{750}{0,95}$$

$$P \text{ media (primaria)} = 790 \text{ watt}$$

Poichè il fattore di potenza del trasformatore è pari a 0,9, si ha:

$$\frac{P \text{ media}}{P \text{ apparente}} = 0,9$$

$$P \text{ apparente} = \frac{P \text{ media}}{0,9} = \frac{790}{0,9}$$

$$P \text{ apparente} = 877 \text{ watt}$$

Dato che la potenza apparente è sempre eguale a E_p volte I_p, si ha che:

$$I_p = \frac{\text{potenza apparente}}{E \text{ primaria}} = \frac{877}{110}$$

da cui: $I_p = 8$ ampère, circa.

Nei casi in cui sono in gioco piccole potenze, il rendimento ed il fattore di potenza possono essere trascurati. La **figura 14** illustra lo schema di un tipico trasformatore in discesa che converte la tensione di rete di 110 volt in una tensione di 6,3 volt, adatta per la accensione di un certo numero di valvole. Poichè il secondario riduce la tensione applicata a 6,3 volt, il rapporto tra le spire è:

$$N_s : N_p = 6,3 : 110 = 1 : 17,6 = 0,057$$

per cui, se nel circuito secondario scorre una corrente di 4 ampère, la corrente primaria è:

$$I_p = \frac{I_s N_s}{N_p} = 4 \times 0,057 = 0,228 \text{ ampère}$$

In questo tipo di trasformatore, una corrente primaria bassa determina una corrente relativamente elevata nel secondario, ma con tensione bassa.

La potenza dissipata nel circuito secondario equivale a 6,3 volte 4, ossia 25,2 watt, mentre la potenza dissipata nel primario equivale a 110 volte 0,228, ossia 25,2 watt.

Nel calcolo della potenza totale trasferita da un trasformatore con più avvolgimenti secondari, la potenza del circuito primario equivale alla somma aritmetica delle potenze disponibili nei vari secondari.

La **figura 15** illustra lo schema di un trasformatore tipico, munito di tre secondari e di uso comune nei radio ricevitori. La potenza fornita da S_2 ammonta a 25,2 watt, la potenza di S_3 è 5 volte 2, ossia 10 watt, e quella di S_1 è di 750 volte 0,7, ossia 52,5 watt, per cui la potenza totale è data da:

$$P_s = 25,2 + 10 + 52,5 = 87,7 \text{ watt}$$

e la potenza del primario è pressochè la medesima. Vedremo però, in sede di calcolo costruttivo, una differenza tra queste due potenze, vale a dire tra la potenza secondaria e quella totale primaria.

La corrente primaria è data da:

$$I_p = \frac{P_p}{E_p} = \frac{87,7}{110} = 0,797 \text{ ampère}$$

La corrente effettiva misurata nel primario è però maggiore del 10% circa, ossia ammonta a 0,876 ampère a causa del fattore di potenza. Quindi, dal momento che la potenza effettiva equivale a $EI \cos \vartheta$ e dal momento che E ammonta a 110 volt, è possibile calcolare rapidamente la potenza effettiva se è nota la corrente primaria ed il fattore di potenza si approssima a 0,9, nel modo seguente:

$$P \text{ media} = I \times E \times \cos \vartheta = I \times 110 \times 0,9 = I \times 100 \text{ (circa)}$$

per cui, moltiplicando per 100 la corrente misurata nel primario, si ha una misura approssimativa della potenza effettiva, ossia:

$$P \text{ media} = 0,876 \times 100 = 87,6 \text{ watt}$$

COSTRUZIONE di TRASFORMATORI di ALIMENTAZIONE

I trasformatori e le impedenze avvolte su nuclei metallici sono componenti fondamentali e di largo impiego nelle apparecchiature elettroniche: tali organi, nei circuiti funzionanti con frequenza di rete o con frequenze acustiche, compaiono quasi sempre.

Il lettore che intende mettere in pratica quanto apprende durante lo svolgimento del presente Corso, troverà particolarmente utile approfondire questo argomento per tre motivi: in primo luogo, in quanto, a volte, è possibile usare un trasformatore per una applicazione pratica le cui caratteristiche differiscono da quelle per le quali il trasformatore stesso è stato costruito. In secondo luogo, perchè accade sovente di dover ricostruire o riavvolgere — interamente o in parte — un trasformatore già disponibile, evitando di acquistarne uno nuovo. In terzo luogo, in quanto un tecnico che abbia approfondito tale argomento è in grado di progettare e realizzare i trasformatori che gli occorrono con un notevole risparmio di denaro.

Ciò che ci proponiamo è quindi di mettere il lettore in grado di progettare e costruire un trasformatore, dopo di che, logicamente, egli sarà anche in grado di effettuare eventuali modifiche o riparazioni.

TRASFORMATORI di ALIMENTAZIONE

Abbiamo visto che, allorchè l'avvolgimento primario di un trasformatore di alimentazione è collegato alla rete di illuminazione, il flusso magnetico variabile prodotto dalla corrente alternata che lo percorre induce nell'avvolgimento secondario una tensione alternata, disponibile ai suoi capi. L'ammontare di detta tensione, presente peraltro ai capi di ogni avvolgimento secondario (qualora essi siano in numero maggiore di uno) abbiamo visto anche che dipende dal numero delle spire avvolte sia nel primario, sia in ogni secondario. In particolare, la tensione indotta è in stretta relazione col rapporto tra il numero delle spire primarie e quello delle spire secondarie. Non sarà male ricapitolare queste nozioni, come premessa alla presente lezione che, trattando di criteri costruttivi, deve necessariamente essere basata sulla teoria esposta.

Supponiamo, ad esempio, che la tensione di rete sia di 100 volt c.a., e che l'avvolgimento primario consti di 100 spire: ciò significa che, per ogni spira primaria, si ha la tensione di 1 volt, ossia 1 spira per volt, o 1 volt per spira. Se tale è il rapporto primario, esso permane anche in ogni secondario, per cui se un secondario di quel trasformatore fornisce una tensione di 300 volt, ciò significa che è costituito da un avvolgimento di 300 spire. È importante notare che detta tensione si riferisce all'avvolgimento secondario con circuito aperto, ossia senza alcun carico che consumi la corrente erogata.

Non appena invece viene applicato un carico, l'ammontare della tensione secondaria diminuisce del 5 o del 10%, a seconda delle caratteristiche del trasformatore.

Matematicamente parlando, il fattore *spire/volt* di un dato trasformatore può essere espresso mediante la formula:

$$\text{N. spire per volt} = \frac{\text{Numero spire dell'avvolgimento}}{\text{Tensione presente ai suoi capi}}$$

I nuclei di materiale ferroso hanno il compito di concentrare il flusso magnetico nelle zone in cui si desidera la maggiore intensità, dove cioè esso è più efficace agli effetti pratici. In altre parole — come abbiamo esposto più volte — essi fanno in modo che tutte le linee di forza presenti contribuiscano ad indurre nel o nei secondari, una tensione alternata allorchè una corrente scorre nel circuito primario. Se non si usasse un nucleo magnetico, la maggior parte del flusso si disperderebbe nell'aria, ed il trasferimento di energia dal primario ai secondari sarebbe troppo basso per giustificare l'impiego pratico di un trasformatore. Inoltre, un trasformatore privo di nucleo — ossia con nucleo « ad aria » — per poter funzionare con la frequenza della rete di alimentazione, dovrebbe avere dimensioni assurde onde essere in grado di fornire una quantità di energia apprezzabile.

Il materiale usato per la realizzazione dei nuclei non ha una struttura solida e compatta, bensì è costituito da strati metallici, detti « lamierini » sovrapposti in quantità tale da raggiungere lo spessore desiderato: sappiamo il perchè. Le perdite dovute alle correnti parassite sono tanto minori quanto più i lamierini sono sottili, il che rende minime le perdite di potenza e lo sviluppo di energia termica; anche quest'ultima costituisce logicamente una dispersione di potenza.

I vari fabbricanti mettono in commercio, a disposizione delle industrie elettroniche, diversi tipi di lamierini, la cui forma e le cui dimensioni sono conformi alle tensioni ed alle potenze normalmente in gioco in tale ramo. Per lo più, i lamierini hanno la forma ben nota detta ad « E » (con « I » di chiusura) oppure la forma ad « M »; la tabella N. 53, a pagina 308, elenca le dimensioni fisiche più comuni. Le varie misure sono distinte dalle dimensioni massime esterne, per cui, un lamierino può es-

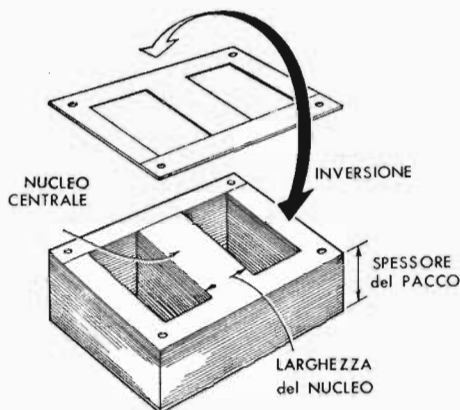



Fig. 1 — Il pacco lamellare del trasformatore viene formato inserendo nel rocchetto o carcassa recante gli avvolgimenti, i lamierini, uno per uno, alternando i pezzi ad « E » con quelli ad « I » di chiusura.

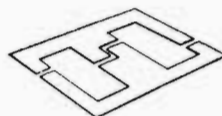



Fig. 2 — Lo stesso risultato di cui alla figura 1 si ottiene con lamierini di questa forma, sempre invertendo il lato dei due diversi pezzi.

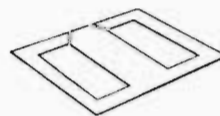



Fig. 3 — Con questo tipo, il pezzo è unico ed il gambo centrale flette: è necessario però, sempre, l'introduzione a senso alterno.

sere individuato come lamierino da 32×38, 37×44, 63×76 oppure 76×80 mm, ecc.

Allorchè detti lamierini vengono inseriti in un avvolgimento per completare il trasformatore, vengono, per così dire, « interlacciati », ossia vengono introdotti uno in un senso ed uno nell'altro, in modo che la lettera « E » sia una volta nel senso giusto ed una volta nel senso inverso, applicando in ogni caso i restanti lamierini ad « I » in modo da chiudere sempre tutti i lati aperti di ciascun lamerino ad « E » (**figura 1**).

Esiste, come si è accennato, un altro tipo comune di lamierino, che elimina la necessità di utilizzare i segmenti ad « I » per il completamento del pacco lamellare. Esso è costituito da lamierini dalla forma di cui alla **figura 2**, asimmetrica, ossia con il gambo centrale di lunghezza diversa; in tal modo, inserendo i due pezzi nell'avvolgimento con l'accorgimento di capovolgerli alternativamente, ogni gamba corta corrisponderà ad una gamba lunga del lamierino successivo, ed il pacco lamellare resterà costituito da strati di spessore costante. Un terzo tipo è, infine, (**figura 3**) quello corrispondente al N. 3 della tabella relativa; esso va inserito flettendo leggermente la parte centrale e, naturalmente introducendolo una volta in un senso e una volta nell'altro.

Il motivo per il quale i lamierini hanno forme di questo genere è del tutto intuitivo; è infatti chiaro che — dal momento che l'avvolgimento viene realizzato a parte, prima di introdurre il nucleo — il nucleo stesso (formato dai lamierini) deve essere interrotto nel suo perimetro per rendere possibile l'introduzione del rocchetto recante gli avvolgimenti.

Esistono altri tipi ed altre forme; su di essi non ci dilunghiamo in quanto il lettore, se avrà occasione di osservarne, constaterà che la differenza può sussistere solo ai fini pratici costruttivi e quasi mai concerne il risultato finale.

Un ESEMPIO di CALCOLO

Nella fase di progetto di un trasformatore di alimentazione entrano in gioco e devono essere determinati cinque fattori principali:

1) La potenza primaria totale.
2) La sezione del nucleo.
3) La sezione del filo di rame.
4) Il numero delle spire di avvolgimento.
5) Le dimensioni dei lamierini.

La potenza

Supponiamo ora di dover costruire un trasformatore (**figura 4**), provvisto di due secondari: uno che debba fornire una tensione di 6,3 volt con una corrente di 3 ampère, ed uno che debba fornire una tensione di 5 volt con una corrente di 2 ampère. La tensione al primario sia di 125 volt: vedremo più avanti le varianti per una diversa tensione primaria.

Calcoleremo dunque — come prima operazione — la potenza. I volt-ampère del primo secondario sono: $6{,}3 \times 3 = 18{,}9$ e quelli del secondo: $5 \times 2 = 10$. Si hanno quindi $18{,}9 + 10 = 28{,}9$ volt-ampère che costituiscono la potenza totale d'uscita del trasformatore. A questo punto, è opportuno notare che il dato che ci necessita per la determinazione degli altri elementi, è quello della potenza al primario. Se il trasformatore non presentasse alcuna perdita nello svolgimento della sua funzione, la potenza al primario sarebbe eguale a quella totale dei secondari che già conosciamo, ma ciò non è nella realtà. In pratica quindi, per giungere al valore che ci interessa, si moltiplica il totale dei volt-ampère (VA) secondari per il numero 1,4.

Nel nostro caso: $28{,}9 \times 1{,}4 = 40{,}46$ volt-ampère al primario.

La sezione del nucleo

Occorre ora determinare la sezione del nucleo. A questo scopo ci si può servire della formula:

$$\text{Sezione netta } (S_n) = 1{,}5 \sqrt{\text{potenza primaria } (P_p)}$$

oppure — se non si vogliono fare calcoli — dell'abaco di cui alla tabella 52 riportata a pagina 307. Sia nell'uno che nell'altro caso troviamo che la sezione a noi necessaria è di 9,6 cm².

Noto il valore della sezione, occorre stabilire lo spessore del lamierino da scegliere (si veda la tabella 53 a pagina 308); si potrà poi, con l'aiuto dell'abaco della tabella 52 conoscere la sezione lorda. Adottando un lamierino da 0,35 mm di spessore (più è sottile il lamierino e minori perdite si hanno) avremo, sempre in corrispondenza dei 40,46 volt-ampère — secondo l'indicazione dell'abaco — una sezione lorda di 11 cm².

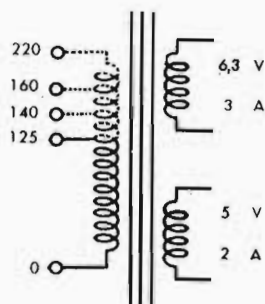



Fig. 4 — Trasformatore di cui viene dato l'esempio di calcolo nel testo. I dati relativi alle tensioni primarie superiori ai 125 volt sono pure esposti, come possibile variante.

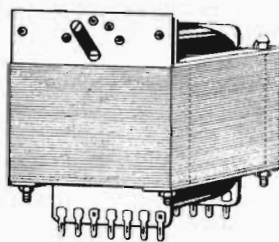



Fig. 5 — Con diverse tensioni previste al primario, si adotta il « cambio-tensioni » che, a volte è montato, come in questa illustrazione, sul trasformatore stesso.

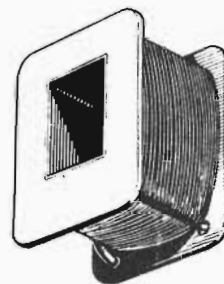



Fig. 6 — Gli avvolgimenti sono effettuati su di un supporto di materiale isolante detto carcassa, che è bene sia munito, ai lati, di due fiancate che contengono il filo e gli impediscono il contatto con i lamierini.

La sezione del filo

La sezione del filo da impiegare per i diversi avvolgimenti è in stretta dipendenza della corrente che in esso deve circolare. La corrente dei secondari ci è nota perchè è uno degli elementi di partenza da noi prefissati: non ci è nota invece quella del primario, ed è necessario perciò accertarla.

Come ben sappiamo la corrente equivale al rapporto tra la potenza e la tensione ($I = P:V$). La potenza al primario del nostro trasformatore è di 40,46 VA: per semplificare i calcoli arrotonderemo a 40,5 VA. La tensione primaria è stata stabilita in 125 volt, per cui la corrente sarà:

$$\frac{VA \text{ primari}}{\text{tensione primaria}} = \frac{40{,}5}{125} = 0{,}32 \text{ ampère}$$

Ora possiamo determinare la sezione del filo da usare.

A seconda dei criteri generali costruttivi (maggiore o minore economia di rame, maggiore o minore riscaldamento del trasformatore) si stabilisce una quantità di corrente in relazione alla sezione del filo. Solitamente si ammettono dai 2,0 ai 3,5 ampère per mm²: consigliamo un valore di 3 ampère per mm² se il trasformatore deve rimanere inserito in modo continuato nei suoi impieghi per alcune ore, un valore di 2,5 ampère per usi prolungati a sette-otto ore e di 2,0 ampère se deve funzionare 24 ore su 24 ore.

Abbiamo preparato per il lettore, nei riguardi del filo di rame, una tabella molto utile (tabella 54 a pagina 309). In essa sono riportati numerosi dati posti in relazione tra loro sì da permettere di conoscere, rapidamente, i molteplici elementi che possono interessare (diametro, peso, spire per cm, resistenza, ecc.). Nella tabella in questione si individuerà quale diametro deve avere il filo in rapporto alla densità di corrente prescelta. Se stabiliamo, ad esempio, 2,5 ampère per cm², apprendiamo che per la nostra corrente di 0,32 ampère occorre un filo da 0,40 mm di diametro.

Analogamente — a mezzo della tabella — troveremo che il filo per il secondario che deve fornire 3 ampère dovrà essere di 1,2 mm e quello per il secondario a 2 ampère, di 1 mm di diametro. Naturalmente è ammessa una certa tolleranza nel valore di corrente o nel diametro, onde avvicinarsi a numeri interi, se necessario.

Facciamo osservare, a questo punto, che assai spesso i trasformatori di alimentazione per apparecchi radio presentano un avvolgimento primario che può essere inserito su tensioni diverse, intervenendo, ben inteso, su di un dispositivo detto « cambio-tensioni ». Quest'ultimo è, in sostanza, un commutatore semifisso, mediante il quale si inserisce, per ogni posizione, un diverso numero di spire (**figura** 5) di modo che risulti un'idoneità con la tensione disponibile. In tal modo, le tensioni al secondario risulteranno sempre le stesse mentre al primario si potranno utilizzare, ad esempio, 110, 125, 140, 160, 220 e, a volte, 280 volt, che sono i valori più correnti di tensione adottati sulle nostre reti di distribuzione. Non avendosi, logicamente, alcuna variazione di potenza dissipata ne consegue che nell'uso con tensione alta (poniamo 220 volt) si avrà nel conduttore primario un minore passaggio di corrente che non nel caso di allacciamento su tensione bassa (110 volt). Dal punto di vista costruttivo dei trasformatori ciò equivale ad un impiego di conduttori a sezione diversa; per meglio dire, dall'inizio dell'avvolgimento (« zero ») a 110 volt sarà adottato un filo di sezione relativa a quella corrente, mentre mano a mano che si passerà (dopo i 110 volt) alle tensioni superiori si potrà impiegare filo di sezione sempre minore con economia di rame e di ingombro. In pratica avviene che, per non accrescere troppo i tipi di filo, si accomunano quelli di tensioni tra loro vicine: così si adotta una sezione, poniamo, da zero a 110 e 125 volt, indi una sezione minore sino a 140 e 160 volt, ed una terza sezione da 160 a 220 volt. Sarà facile al lettore calcolare le diverse sezioni necessarie dopo aver appurato l'ammontare di corrente: basterà ripetere, con i diversi valori, quanto chiarito all'inizio di questo capitolo per stabilire tale corrente e successivamente servirsi della tabella 54 per individuare il conduttore.

Il numero delle spire

Il numero di spire che viene avvolto su di un nucleo è uno dei fattori determinanti la densità del flusso magnetico presente nel nucleo stesso. Il nostro avvolgimento primario determinerà perciò la densità di flusso del trasformatore. Abbiamo già visto che si deve puntare sul raggiungimento della più elevata densità di flusso possibile senza però pervenire alla saturazione del ferro: si è detto anche, a questo proposito, che la maggior parte dei trasformatori costruiti per il funzionamento con la

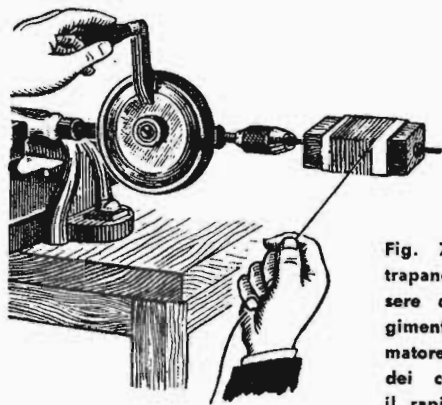



Fig. 7 — Un comune trapano a mano può essere di aiuto nell'avvolgimento di un trasformatore, sia per la posa dei conduttori, sia per il rapido conteggio delle spire.

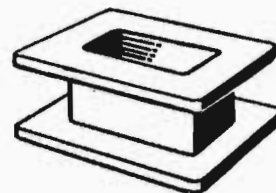



Fig. 8 — A volte, nei trasformatori costruiti da fabbriche specializzate, per i tipi di maggiore impegno vengono adottate carcasse particolarmente robuste e sicure, realizzate in materiale plastico, rigido, stampato.

frequenza di rete funzionano in prossimità del punto di saturazione, e ciò per ragioni di economia di materiale, riduzione di ingombro, ecc.

Un valore di densità di flusso (ricordiamo qui la tabella 31) che può essere preso a base dei nostri calcoli, e che è riferito al materiale costituente il nucleo di questi tipi di trasformatori (ferro-silicio) è quello di 10.000 linee per cm². Inoltre, poichè qui ci occupiamo esclusivamente di trasformatori di alimentazione (i trasformatori per Bassa Frequenza saranno oggetto di una apposita lezione) è sottinteso che la frequenza sarà sempre quella di rete, ossia quella ormai standardizzata di 50 Hertz.

Sarà facile determinare il numero di spire per volt che occorre avvolgere per il primario adottando questa semplice formula:

$$\text{Numero spire/volt primario} = \frac{45}{\text{sezione nucleo}}$$

Precisiamo che il valore della sezione del ferro da adottarsi è quello della sezione netta. Vediamo ora l'applicazione al nostro trasformatore in progetto. Sappiamo che la sezione netta necessaria è di 9,6 cm², per cui:

$$\text{Numero spire/volt primario} = \frac{45}{9{,}6} = 4{,}68 \text{ arrotondato a } 4{,}7$$

Poichè al primario del trasformatore dovranno essere applicati 125 volt (nostra premessa) si avrà:

$$\text{Numero di spire primare} = 4.7 \times 125 = 587$$

Se vogliamo che il nostro trasformatore disponga di un primario che possa essere allacciato anche a reti di tensione diversa, sarà facile stabilire che le spire primarie saranno:

$4{,}7 \times 140 = 658$ $\quad 4{,}7 \times 160 = 752$ $\quad 4{,}7 \times 220 = 1034$

rispettivamente per le tensioni di 140, 160 e 220 volt. In altre parole, un avvolgimento di 1034 spire con presa alla 752ª, 658ª e 587ª spira.

Per quanto riguarda le spire per volt ai secondari, applicheremo invece quest'altra formula:

$$\text{Numero spire/volt secondario} = \frac{48}{\text{sezione nucleo}}$$

che, nel caso pratico, vale:

$$\text{Numero spire/volt secondario} = \frac{48}{9{,}6} = 5$$

Perciò, per il secondario a 6,3 volt, occorreranno 6,3 × 5 = 31,5 spire e per quello a 5 volt, 5 × 5 = 25 spire.

Ci sono noti oramai molti dati d'ordine costruttivo: non ci resta che determinare il tipo di lamierino da impiegare, inteso dal punto di vista delle sue dimensioni del gambo centrale (che costituisce il nucleo) e delle finestre (ove trovano posto gli avvolgimenti). Contemporaneamente, è opportuno farsi un'idea dell'ingombro degli avvolgimenti, perchè è questo il fattore, come vedremo, che condiziona la scelta del tipo di lamierino.

Le dimensioni dei lamierini

Occorre stabilire anzitutto la larghezza della colonna centrale. Poichè, ai fini costruttivi è utile dare al nucleo una sezione quanto più possibile di forma quadrata, adottiamo l'espressione: $\sqrt{S_l}$, vale a dire, radice quadrata della sezione lorda, per trovare la larghezza che ci necessita. Vedremo tra breve come tale dato non venga quasi mai adottato, tuttavia è utile ricavarlo egualmente perchè rappresenta la misura di partenza per la successiva scelta.

Nel nostro caso: $\sqrt{11} = 3{,}3$ cm.

Tra i lamierini in commercio (vedi tabella 53, colonna C) con colonna centrale di valore prossimo a 33 mm, troviamo un tipo 79 × 94 che ha il gambo centrale di 32 mm. Potremmo realizzare il trasformatore con tale tipo di lamierino ma, a cose fatte, ci accorgeremmo che le « finestre », ossia lo spazio nel quale deve trovare posto l'avvolgimento, risulterebbero male utilizzate: avanzerebbe spazio. Si avrebbe, in sostanza, un trasformatore inutilmente ingombrante. Per evitare ciò, si adotta allora un lamierino con finestre più piccole, ma poichè questo fatto comporta automaticamente una riduzione della larghezza del gambo centrale, occorre — per avere sempre la stessa sezione lorda di 11 cm² — aumentare lo spessore totale, in altre parole, occorre rinunciare (come si e detto sopra) all'idea del nucleo quadrato per adottarne uno rettangolare. In pratica, questa rinuncia avviene quasi sempre, vale a dire che per il nucleo si adottano sempre forme rettangolari; noi abbiamo voluto tuttavia mettere in evidenza che, ove non intervenissero i fattori

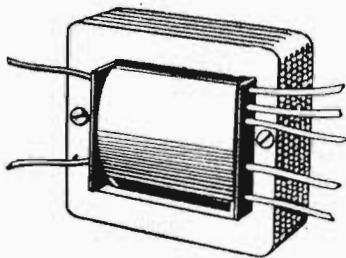



Fig. 9 — Molte volte, allorchè i fili dell'avvolgimento sono di sufficiente diametro, per ragioni di rapidità ed economia costruttiva, vengono sfruttati anche come conduttori per i diversi collegamenti agli altri componenti del circuito. In questo caso sono quasi sempre colorati secondo un codice di colori, di cui riportiamo a pagina 310 due elenchi.

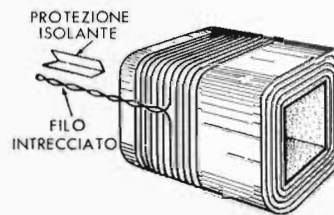



Fig. 9 bis — Per riportare all'esterno i fili di collegamento, o comunque per portarli alle pagliette di ancoraggio, se si tratta di una presa, come è illustrato, si attorcigliano i due capi e si ha cura di isolarli trasversalmente rispetto agli altri fili, con protezione isolante, come indicato.

enunciati, sarebbe preferibile adottare la forma quadrata.

Come si può sapere allora, a priori, quale sia il tipo di lamierino che, per le sue dimensioni, risulta idoneo alla costruzione? È solo con un po' di pratica che si può pervenire ad una abilità di scelta, tale da far identificare subito il tipo di lamierino più adatto, conciliante le sue dimensioni con le necessità di avvolgimento. Fortunatamente, questo « colpo d'occhio » si acquista facilmente dopo la costruzione di pochi esemplari: esso consiste, in sostanza, nel saper valutare lo spazio, o meglio, il volume che conduttori e isolamento occuperanno, per giudicare se potranno essere alloggiati nelle « finestre ».

È evidente da quanto sopra che chi non è ancora padrone di una tale tecnica valutativa deve procedere a calcoli preventivi per non incontrare spiacevoli sorprese a lavoro pressochè terminato. Tali calcoli — che quì di seguito indichiamo — verteranno sul controllo del volume d'avvolgimento, partendo dal presupposto impiego di un dato lamierino.

Già abbiamo indicato un dato di partenza, vale a dire la misura dedotta dalla radice quadrata della sezione lorda (sul nostro caso = 33 mm); avendo presente tale dato, consigliamo di scegliere un tipo di lamierino con misura della colonna centrale pari ad un 20% circa, in meno. Così prenderemo in esame i lamierini a colonna centrale di 25 mm (Tabella 53), ovviamente con misure di ingombro esterno inferiori a quelle del tipo da 33 mm. Se si presenta più di un tipo a disposizione è opportuno dare la prevalenza a quello che non si discosta eccessivamente dall'ingombro esterno del tipo di partenza di cui abbiamo detto (cm 79 × 94). Così, sempre per rimanere nel nostro esempio, fisseremo la nostra attenzione sul modello cm 76 × 80, scartando il cm 63 × 76.

Dato che occorre formare 11 cm² di sezione e che il lamierino prescelto ha la colonna di 2,5 cm, occorrerà formare, con i lamierini sovrapposti, un'altezza del pacco di cm 11 : 2,5 = 4,4 centimetri.

Ora dobbiamo verificare se i necessari avvolgimenti potranno essere contenuti nelle finestre che sono, nel caso specifico, di cm 52 × 16 (Tabella 53).

Ciò che deve essere alloggiato nel citato spazio non è solo il filo di rame. Tra uno strato di filo e l'altro si inseriscono, spesso, strati di carta paraffinata; tra il primario ed i secondari, e tra i secondari stessi, si interpongono strati di leggero cartoncino o nastro isolante apposito, o tela imbevuta di sostanze speciali. L'inizio e la fine di ciascun avvolgimento devono far capo all'esterno per cui si avrà un conduttore trasversale, ben isolato e fermato con fettuccia, da tenere presente nell'assieme dell'ingombro.

Infine, si avrà la carcassa di cui si è altrove parlato, che porterà via una quota notevole dello spazio a disposizione nelle finestre. Tutti questi fattori vanno tenuti in debito conto.

Se la finestra è lunga 52 mm e la carcassa adottata è del tipo — come è consigliabile sia — con fiancate (**figura** 6), avremo, utili per il filo, 52 mm meno lo spessore delle due fiancate: possiamo dire mm 48 utili.

Prendiamo in considerazione l'avvolgimento del primario. Sappiamo che occorrono 587 spire di filo da 0,40 mm. La nostra preziosa tabella 54 ci informa che su 1 cm lineare trovano posto 20 spire di tale filo: abbiamo 4,8 cm utili alla finestra per cui:

$$4{,}8 \times 20 = 96 \text{ spire per uno strato}$$

Essendo 587 le spire, saranno necessari 6 strati interi ed uno parziale per residue 11 spire. In pratica, poichè mano a mano che gli strati si sovrappongono qualche spira viene diminuita dal numero delle possibili per strato, possiamo considerare 7 strati interi.

Consideriamo parallelamente il caso del primario a diverse tensioni. La prima tra le tensioni ulteriori previste (140 volt) comporta, come abbiamo visto, 658 spire (71 spire in più delle 587). La sezione del filo relativo può essere però leggermente inferiore a quella necessaria per i 125 volt: successivamente, aggiungendo 94 spire perverremo ai 160 volt ed infine con altre 282 spire, ai 220 volt. Le spire aggiunte tra una tensione e l'altra presenteranno filo di sezione minore. Si può conoscere la sezione di tale filo con l'impiego della tabella 54, così come abbiamo fatto nei riguardi della tensione di 125 volt: divideremo prima la potenza primaria (40,5) per le singole tensioni, ottenendo 0,29 - 0,25 - 0,18 ampère e, in base a dette correnti, relative ai 140 - 160 - 220 volt, la tabella ci dirà che occorre filo di 0,38 - 0,35 - 0,30 mm rispettivamente (2,5 ampère per cm²).

Perciò, in caso di primario cosiddetto universale, avremo ancora:

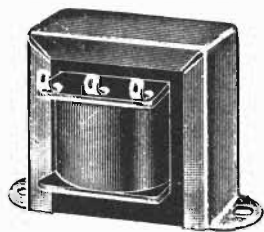



Fig. 10 — Quando il filo di avvolgimento è sottile, come nei piccoli trasformatori di Bassa Frequenza, si preferisce sempre ancorarlo a pagliette fissate su di un fianco della carcassa.

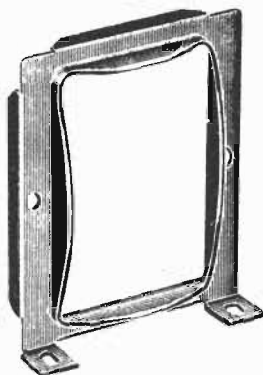



Fig. 11 — Tipico serrapacco per montaggio verticale. La nervatura lo rende particolarmente robusto: va accoppiato ad altro elemento eguale.

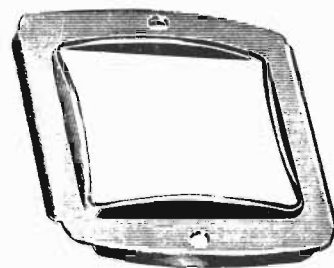



Fig. 12 — Tipico serrapacco per montaggio orizzontale. Assai spesso ne viene usato uno solo in quanto il trasformatore appoggia, dall'altro lato, sulla lamiera dello chassis.

1 strato ... (spire 71) ... di filo da 0,38 mm, più

1 strato ... (spire 94) ... di filo da 0,35 mm, più

2 strati ... (spire 282) ... di filo da 0,30 mm.

Uno dei secondari necessita di 31,5 spire di filo da 1,2 mm. La tabella 54 indica che in 1 cm si possono affiancare 7,5 spire: sulla lunghezza di 4,8 cm potremo collocare comodamente, in un solo strato, l'intero secondario. Analogamente, per l'altro secondario avremo 1 solo strato, dato che occorrono solo 25 spire di filo da 1 mm di diametro.

I sette strati di filo da 0,40 occuperanno in altezza, grosso modo, 3,5 mm (qui ci è utile ancora la tabella 54, sempre nella sua terza colonna) ai quali vanno sommati 1,2 mm ed 1 mm rispettivamente per i secondari: totale = 5,7 mm circa. Ciò per il solo filo. Dobbiamo ora aggiungere 1,5 mm di spessore del nucleo della carcassa nonchè lo spessore degli strati di carta e cartoncino; questi ultimi possono essere valutati, con approssimazione, a 2,5 mm (si veda in proposito la tabella 55) (sei o sette strati di carta e due o tre di cartone e cartoncino): in totale avremo perciò $5{,}7+1{,}5+2{,}5 = 9{,}7$ che, arrotondando ancora, saranno 10 mm. Poichè la finestra del lamierino prescelto è alta 16 mm, il trasformatore potrà essere comodamente realizzato, pur dovendosi prestare sempre, in ogni caso, la necessaria attenzione a che gli avvolgimenti siano ben stretti, vale a dire ben tesi all'atto del collocamento, sia del filo che degli strati isolanti.

Nel caso di primario universale, i diversi strati necessari in più comportano (calcolo con la tabella 54) uno spessore di 2,5 mm circa (ivi compresa la carta di isolamento) per cui anche essi potranno essere contenuti nella finestra del lamierino prescelto (spessore totale dell'avvolgimento 12,5 mm).

La REALIZZAZIONE

Sebbene la costruzione di trasformatori sia operazione non troppo difficile, si presenta in ogni modo al radiotecnico un importante problema: quello delle operazioni di avvolgimento. Il trasformatore che abbiamo preso ad esempio è piuttosto piccolo: in genere i trasformatori di alimentazione comportano quell'avvolgimento primario a prese multiple di cui si è detto, vale a dire adatto alle diverse tensioni di rete (ad esempio, 110 - 125 - 140 - 160 - 220 volt) ed oltre ai secondari a bassa tensione, anche un secondario ad alta tensione. È evidente che il numero di spire è allora assai più elevato di quello relativo al nostro esempio che, purtuttavia ci impegna già ad avvolgere quasi 600 spire per il solo primario. Questa difficoltà può essere risolta solamente eseguendo gli avvolgimenti a mezzo di una apposita avvolgitrice con la quale naturalmente si ottiene anche il vantaggio di una esecuzione a regola d'arte del lavoro. Tuttavia, saranno solo le considerazioni economiche dei singoli casi che decideranno se la spesa per l'acquisto di una tale macchina è giustificata dal suo più o meno frequente impiego. Vogliamo ricordare, incidentalmente, che un aiuto — dovendosi costruire uno o due trasformatori solamente — può essere dato da una soluzione di ripiego consistente nel fissare la carcassa su di un parallelepipedo di legno (cosa del resto necessaria quasi sempre anche con le avvolgitrici) e nel predisporre poi il legno in maniera solidale con una lunga vite, ad esempio, passante per il suo centro, stretta nel mandrino di un comune trapano (**figura 7**). Ruotando la manopola del trapano, anche il legno e la carcassa ruoteranno velocemente e si potrà eseguire la posa del filo, avendo sempre cura di avvolgerlo tendendolo ben teso. Il rapporto del meccanismo del trapano agevola queste operazioni: se si avrà l'avvertenza di accertare tale rapporto, si potrà anche sapere a priori quanti giri della manopola saranno necessari per l'intero avvolgimento agevolando così l'operazione nel caso l'avvolgimento sia di elevato numero di spire.

Scelto il tipo di lamierino sulla scorta del progetto e del controllo che si è visto, occorre predisporre la carcassa. Quest'ultima, o è costituita da una semplice striscia di cartone, della larghezza della finestra, piegata in quattro parti in modo da costituire un tubo a sezione quadrata o rettangolare o è, oltre che a tubo, a fiancate riportate ai due lati (figura 6); qualche volta è addirittura — nei trasformatori realizzati da fabbriche — in un solo pezzo di materiale plastico stampato (**figura 8**). La sua funzione è evidente: supportare tutti gli avvolgimenti, isolare gli stessi dal ferro, e ricevere all'interno il nucleo centrale del trasformatore che costituisce la sezione. Abbiamo già anche detto del debito conto in cui va tenuto il suo spessore (e lo spessore delle fiancate, che sono sempre consigliabili) ai fini dello spazio utile.

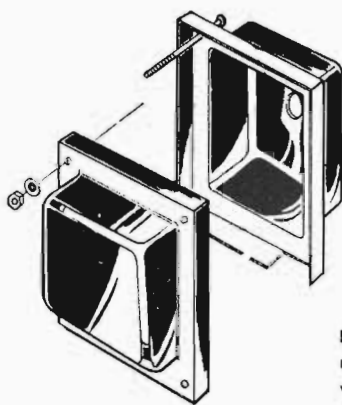



Fig. 13 — Le calotte conferiscono al trasformatore migliore estetica, protezione degli avvolgimenti e schermatura. Molto spesso sono assai rigide sì da fungere contemporaneamente anche da serrapacco.

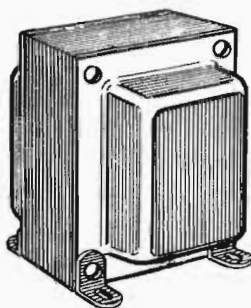



Fig. 14 — Nel caso di montaggio orizzontale del trasformatore si può adottare, così come si è visto per il serrapacco, un'unica calotta. Anche qui la calotta elimina spesso il serrapacco e protegge l'avvolgimento.

L'ordine col quale gli avvolgimenti vanno eseguiti non è determinante. Il lettore sa che per il principio stesso di funzionamento del trasformatore, è indifferente, ad esempio, se il primario è avvolto, sopra, sotto o addirittura tra due secondari. Tuttavia, quasi sempre si avvolge anzitutto il primario (specialmente quando presenta numerosi collegamenti esterni), indi il secondario ad alta tensione e, per ultimi, i secondari a tensione più bassa e solitamente a corrente più elevata (filo grosso). Si tenga presente, in proposito, che mano a mano che gli strati avvolti crescono di numero, la spira aumenta di lunghezza, per cui è preferibile (anche per questioni di riduzione di costo del filo totale da impiegare) che gli avvolgimenti richiedenti molte spire di filo sottile siano i primi, vale a dire a spira più corta perchè più vicina al nucleo.

In casi particolari, allorchè si ha un secondario a elevato numero di spire ed a presa centrale, al fine di non pervenire — data la diversa lunghezza delle spire iniziali e finali — a due sezioni diverse tra loro nella resistenza ohmica (vale a dire poco simmetriche) si avvolge l'una arrivando solo a metà lunghezza della finestra, e l'altra, successivamente, affiancata, sull'altra metà. Vedremo in altra lezione — quando tratteremo dei trasformatori per audiofrequenza — quando sia necessario ciò per molteplici motivi. Per quel che si riferisce alla pratica attuazione dei trasformatori di alimentazione l'accorgimento citato è eccezionale.

A seconda che il trasformatore da costruire debba essere del tipo da fissare verticalmente o orizzontalmente, si adotta l'appropriato sistema d'uscita dei fili di collegamento col circuito esterno. Inoltre, la citata differenziazione impone anche la scelta del lato d'uscita dei conduttori stessi. I fili di avvolgimento (capo di inizio e di fine), se di sufficiente sezione, possono essi stessi — lasciati in spezzoni di opportuna lunghezza — costituire i conduttori di collegamento esterno (**figura 9**). I fili più sottili vanno fermati ed ancorati (ad esempio mediante pagliette sulle fiancate della carcassa - **figura 10**) onde permettere o il collegamento esterno sino a tale punto o il successivo prolungamento con un conduttore di più elevata sezione: a volte anche questo secondo conduttore è già presente nei trasformatori del commercio e richiamiamo in proposito la pagina 310 che riporta due codici di individuazione.

Non vogliamo ulteriormente dilungarci nel riferire particolari costruttivi che, per essere bene compresi, è pur sempre necessario osservare in pratica. Consigliamo senz'altro a chi volesse in qualche modo occuparsi della realizzazione dei trasformatori, l'esame analitico di qualche esemplare fuori uso da smontare: non sarà difficile trovarne presso qualsiasi radioriparatore.

Dobbiamo fare cenno ora a due accessori di notevole utilità: il *serrapacco* e le *calotte*. Il serrapacco — **figura 11** — come dice il suo nome, serve a stringere il pacco lamellare a lavoro finito: esso è indispensabile in quanto che, se il pacco non risultasse ben stretto — vale a dire i lamierini non sufficientemente pressati tra loro — si avrebbero noiose vibrazioni dei lamierini stessi. Il serrapacco ha quasi sempre la forma del lamierino completo è di una certa robustezza e rigidità e tante volte è un pezzo metallico di fusione. È dotato di sporgenze e fori necessari per il passaggio di viti tiranti, sì da serrare a dovere il trasformatore. A volte, quando il trasformatore viene montato orizzontalmente sullo chassis e sporge con metà avvolgimento all'interno dell'apparecchio (è necessaria una grande finestra nel telaio) è sufficiente un solo serrapacco, quello superiore (**figura 12**), dato che al di sotto è lo chassis stesso che contribuisce con la sua rigidità alla funzione.

Le calotte (**figura 13**) non sono indispensabili, ma sono tuttavia spesso adottate per ragioni di estetica, sicurezza e praticità del trasformatore, come organo a sè stante. Se sufficientemente rigide, possono fungere contemporaneamente anche da serrapacco: per i trasformatori da collocare in senso orizzontale, così come avviene per il serrapacco, è sufficiente una sola calotta (**figura 14**).

Si abbia cura che le viti tiranti, alle quali si è fatto cenno, risultino isolate dal pacco lamellare, in particolare allorchè, come avviene per alcuni tipi di lamierini, negli stessi è previsto un foro per il loro passaggio. È facile provvedere in tal senso predisponendo all'interno del foro un pezzetto di tubetto « sterling » di diametro adeguato, alto quanto tutto il pacco dei lamierini. L'isolamento tra strato e strato, tra gli avvolgimenti ed il ferro, tra primario e secondari e tra i secondari stessi, va molto curato, in particolare quando si sa che nel circuito esisteranno notevoli differenze di potenziale. Si abbondi sempre nell'impiego degli strati di carta e cartoncino; si osservino i passaggi dei fili di entrata e d'uscita, i loro eventuali incroci e i punti di unione con saldature: si adotti nastro isolante e tubetto « sterling » con generosità. Si può anche, se si vuole un assieme ben compatto, fasciare tutto

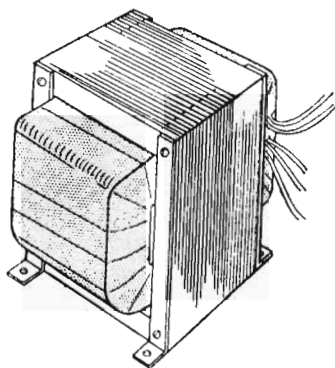



Fig. 15 — Se non si adottano calotte e si vuole una protezione, si possono fasciare gli avvolgimenti con nastro, prima dell'introduzione dei lamierini.

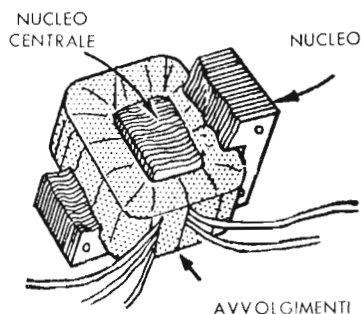



Fig. 16 — I lamierini devono essere infilati nella bobina (in questo caso è assente la carcassa) nel maggior numero possibile. Il nucleo è mostrato sezionato.

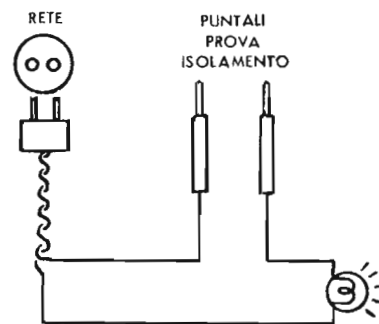



Fig. 17 — Con due puntali così predisposti si possono eseguire alcune prove di isolamento del trasformatore che, sebbene assai modeste, sono tuttavia utili e precauzionali.

l'avvolgimento con un nastro di cotone (**figura 15**).

Terminati gli avvolgimenti è necessario inserire i lamierini, uno ad uno in quanto — come già si è detto — se ad « E » (con listello ad « I » per la chiusura del circuito magnetico), vanno posti singolarmente, alternativamente in un senso e in senso opposto. È questa un'operazione banale, nell'eseguire la quale non va mai dimenticato tuttavia, che è facile deteriorare qualche conduttore con conseguenze rovinose. Infine, si constaterà che l'inserimento degli ultimi esemplari è alquanto difficoltoso perchè occorre contemporaneamente premere con forza il pacco già esistente ed infilare altri lamierini, dato che è bene inserirne il più possibile (**figura 16**).

L'inserimento dei lamierini è praticamente l'ultima operazione costruttiva, salvo l'applicazione dei serrapacco o delle calotte-serrapacco. In realtà può esservi un'ulteriore fase ma ciò avviene solo in alcuni casi: intendiamo riferirci all'impregnazione di paraffina o a quella di « compound ». Si tratta di immergere — dopo averlo portato per circa 30 minuti a 150° C in forno — il trasformatore in un bagno impregnante in modo che successivamente estratto ed essiccato tutto l'assieme risulti molto rigido, compatto e isolato. Questa tecnica, ripetiamo, specialmene riferita all'uso del « compound », è eseguita solo per certi trasformatori, per i quali le condizioni di impiego soprattutto, richiedono precauzioni particolari nella rigidità e nell'isolamento: essa ha il difetto di essere costosa, di ostacolare in modo rilevante le eventuali riparazioni e spesso di impedire addirittura il ricupero del materiale. Il progresso tecnologico conseguito in questi ultimi anni nella fabbricazione dei fili di rame smaltato in relazione all'impiego di vernici o di sistemi isolanti molto più sicuri di una volta e molto più resistenti, ha contribuito a rendere sempre più eccezionale il ricorso all'impregnazione. Aggiungeremo che i dilettanti, o anche i radioriparatori, difficilmente possono attrezzarsi a dovere per eseguire tale operazione per cui i trasformatori eventualmente da essi realizzati si intenderanno sempre del tipo libero, terminato cioè con l'applicazione delle calotte.

A costruzione terminata sarà prudenziale, prima dell'allacciamento alla tensione, una sia pur sommaria prova dell'isolamento. Una verifica con l'ohmetro non può dirsi certamente tale ma, purtuttavia, in mancanza di altri mezzi è consigliabile egualmente per accertare almeno la presenza di eventuali indesiderati cortocircuiti. La lettura dell'ohmetro non può essere una vera prova dell'isolamento perchè pone in gioco la sola tensione dello strumento stesso: un sistema migliore — se ci si vuole attrezzare in maniera economica per tale operazione — è il seguente.

Si predisponga una lampadina secondo il montaggio illustrato alla **figura 17**. Con un puntale (attenzione a non toccare con le mani alcuna parte metallica...) si farà contatto sul pacco lamellare e si porterà l'altro in contatto con i diversi capi di tutti gli avvolgimenti, che dovranno risultare tutti isolati (lampadina spenta). L'accensione completa della lampada significherà cortocircuito: un'accensione ridotta indicherà anch'essa un cortocircuito, seppure con interposta resistenza. Entrambe le constatazioni implicano la necessità di rivedere il lavoro eseguito per rintracciare la causa dell'inconveniente e porvi rimedio, se possibile. Identica prova deve essere eseguita oltre che tra ferro e rame, tra i diversi avvolgimenti che lo schema del trasformatore prevede isolati tra loro. Quanto brevemente esposto ai fini della verifica di isolamento è sempre in realtà un modesto controllo: si consideri che nei laboratori appositamente attrezzati le prove analoghe vengono eseguite con tensioni pari a circa dieci volte la tensione massima fornita dal trasformatore.

A isolamento controllato si potrà passare alla verifica delle tensioni.

La verifica di un trasformatore dopo la sua costruzione è operazione alquanto facile. Sono ben noti i valori di funzionamento per cui basterà, per un trasformatore di alimentazione, collegare i due capi del primario alla rete, ben inteso con coincidenza di tensione. Se il trasformatore avrà al primario prese diverse si potrà controllare l'esattezza del loro calcolo, leggendo tra lo « zero » e le singole prese — con un voltmetro predisposto su c.a. — le diverse tensioni che dovranno coincidere con quelle del progetto. Analogo controllo si farà poi nei riguardi del secondario o dei secondari, misurando ai loro capi la tensione fornita: qui però non ci si meravigli di una lettura di tensioni un po' più alte di quelle necessarie. Ciò dipende dal fatto che il controllo viene eseguito, come si dice, a « vuoto », ossia senza carico al trasformatore: nell'impiego normale le tensioni scenderanno ai valori richiesti e naturalmente anche in tali condizioni sarà fatto, successivamente, un controllo.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A/sp = Amperspire
cos ϑ = Fattore di potenza
E_p = Tensione primaria
E_s = Tensione secondaria
I_p = Corrente primaria
I_s = Corrente secondaria
N_p = Numero spire primarie
N_s = Numero spire secondarie
P_{app} = Potenza apparente
P_m = Potenza media
P_p = Potenza primaria
P_s = Potenza secondaria
R_o = Resistenza ohmica del carico
S_l = Sezione lorda del nucleo
S_n = Sezione netta del nucleo
Sp/V = Spire per volt
VA = Voltampère
V/Sp = Volt per spira

FORMULE

Diametro del conduttore:

Per 2 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}8\sqrt{I}$

Per 2,5 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}7\sqrt{I}$

Per 3 ampère/millimetro quadrato
$\varnothing = 0{,}65\sqrt{I}$

$e = -N\,(d\varnothing : dt)$
$E_p = E_s N_p : N_s$
$E_s = E_p N_s : N_p$
$I_p = I_s N_s : N_p$
$I_p = P_p : E_p$
$I_s = E_s : R_o$
$I_s = P_s : E_s$
$P_m = I \times E \times \cos\vartheta$
$P_p = E_p I_p$
$P_s = E_s I_s$
$S_n = 1{,}5\sqrt{P_p}$
$S_l = S_n + 10\%$ (con lamier. da 0,35 mm)
$S_l = S_n + 15\%$ (con lamier. da 0,50 mm)

$$Sp/V = \frac{\text{Numero spire dell'avvolgimento}}{\text{Tensione presente ai suoi capi}}$$

Sp/V primarie = $45 : S_n$
Sp/V secondarie = $48 : S_n$
V/Sp = $E_p : N_p$

DOMANDE sulle LEZIONI 37ª e 38ª

N. 1 —
Quale è il compito di un trasformatore?

N. 2 —
È possibile, mediante un trasformatore, suddividere una quantità di potenza dissipata in un circuito, e distribuirla in vari circuiti tra loro indipendenti?

N. 3 —
Quali sono le parti principali di un trasformatore?

N. 4 —
Quali sono i compiti del « primario » e del « secondario »?

N. 5 —
Che relazione sussiste tra il rapporto tra le tensioni primaria e secondaria ed il rapporto tra il numero delle spire primarie e secondarie?

N. 6 —
In quanti modi può essere impiegato un trasformatore?

N. 7 —
Per quale motivo non è possibile ottenere nel secondario di un trasformatore una potenza assolutamente identica a quella dissipata nel circuito primario?

N. 8 —
Per quale motivo il nucleo di un trasformatore è realizzato con lamierini isolati tra loro invece che in un unico blocco?

N. 9 —
Un dato trasformatore consta di 2.000 spire primarie e di 1.500 spire secondarie. Se si applica al primario una tensione di 150 volt, quale tensione appare ai capi del secondario?

N. 10 —
Esiste una differenza tra le tensioni secondarie a vuoto, e quelle che sussistono col carico applicato?

N. 11 —
Per quale motivo i lamierini di un trasformatore vengono inseriti uno in un senso ed uno in un altro?

N. 12 —
Può un trasformatore essere caratterizzato da più di un fattore « spire per volt »?

N. 13 —
Quale relazione sussiste tra la corrente ed il numero della spire di ogni singolo avvolgimento?

N. 14 —
Cosa si intende per « rendimento » di un trasformatore?

N. 15 —
Quali sono le cause che determinano le perdite in un trasformatore?

N. 16 —
Per quale motivo, in un avvolgimento ai capi del quale esiste una notevole differenza di potenziale, è indispensabile isolare tra loro gli strati di spire?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 281

N. 1 — Esse sono sempre sfasate di 90° in entrambi i tipi di circuiti, con la differenza che gli sfasamenti sono in senso opposto.

N. 2 — Quelle presenti ai capi degli elementi reattivi sono sempre sfasate reciprocamente di 180°, e possono essere sottratte direttamente.

N. 3 — In questo caso il circuito si comporta come se fosse esclusivamente resistivo, per cui la corrente è in fase con la tensione applicata.

N. 4 — In tali condizioni il circuito è in risonanza con la frequenza della tensione alternata applicata. La corrente è massima se il circuito è in serie, e minima se è in parallelo.

N. 5 — Esse sono reciprocamente sfasate di 180°.

N. 6 — Le correnti dei due rami sono eguali ma di segno contrario, per cui si elidono a vicenda. La corrente di linea tende pertanto a zero e l'impedenza tende verso un valore infinito.

N. 7 — No. Essa ha anche anse negative.

N. 8 — Per « potenza apparente » si intende il prodotto tra i valori di tensione e corrente. $P_{app} = E \times I$.

N. 9 — $P_{med} = I^2R$ oppure $P_{med} = E \times I \times \cos \vartheta$

N. 10 — La potenza viene effettivamente dissipata dalla sola resistenza ohmica, in quanto le resistenze reattive, ossia la reattanza capacitiva ed induttiva, non dissipano energia. Infatti, sia un condensatore che una bobina possono immagazzinare una certa quantità di energia e restituirla con minime perdite non appena la sorgente viene a mancare.

N. 11 — La tensione applicata e la resistenza del circuito.

N. 12 — Si comporta come se al suo posto fosse collegata la sola capacità.

N. 13 — Il valore di 405 microhenry.

N. 14 — La frequenza di risonanza diminuisce.

N. 15 — Le tensioni presenti ai capi di entrambi i componenti sono molto elevate, in quanto l'intensità della corrente è la massima possibile, ed è limitata dalla sola resistenza ohmica dell'intero circuito.

N. 16 — Si comporta come se al suo posto fosse collegata una semplice induttanza.

N. 17 — Deve essere collegato in serie, in quanto l'impedenza di un circuito risonante in parallelo è massima nei confronti della frequenza di risonanza. La massima impedenza determina quindi la massima caduta di tensione relativa alle sole frequenze da eliminare.

N. 18 — È del tipo « passa basso ». Esso viene infatti collegato in parallelo alla tensione, nel qual caso tende a comportarsi — nei suoi confronti — come un corto circuito.

TABELLA 51 — CORRISPONDENZA tra la NUMERAZIONE AMERICANA « B & S » per i CONDUTTORI e i DIAMETRI in MILLIMETRI

Numerazione B & S	Diametro mm	Numerazione B & S	Diametro mm
0000	11,684	24	0,510
000	10,405	25	0,455
00	9,266	26	0,405
0	8,254	27	0,360
1	7,348	28	0,321
2	6,544	29	0,286
3	5,827	30	0,255
4	5,189	31	0,227
5	4,621	32	0,202
6	4,115	33	0,180
7	3,665	34	0,160
8	3,264	35	0,143
9	2,906	36	0,127
10	2,588	37	0,113
11	2,305	38	0,100
12	2,053	39	0,090
13	1,829	40	0,080
14	1,628	41	0,071
15	1,450	42	0,063
16	1,291	43	0,056
17	1,150	44	0,050
18	1,024	45	0,045
19	0,899	46	0,040
20	0,812	47	0,035
21	0,723	48	0,032
22	0,644	49	0,028
23	0,573	50	0,025

La tabella 51 è di grande utilità per coloro che hanno o avranno spesso occasione di consultare testi o riviste americane. In America — infatti — i conduttori vengono classificati come in Italia in rapporto al loro diametro, con la differenza però che esso non è espresso direttamente in millimetri o pollici, bensì seconda una numerazione convenzionale appositamente stabilita.

Mediante la citata tabella è quindi possibile trasformare detta numerazione in indicazioni pratiche, in quanto, a fianco di ogni numero del codice « B & S », è riportato il diametro in millimetri ad esso più prossimo. Naturalmente, a causa della discordanza dovuta alle cifre decimali, la conversione è approssimata, tuttavia la precisione è soddisfacente.

Ad esempio, se un avvolgimento deve essere effettuato con filo « N. 32 », corrispondente al diametro di 0,202 mm, si potrà tranquillamente usare del filo da 0,20 mm. Dal momento che la sezione del conduttore è calcolata in base ad una portata stabilita in ampère per millimetro quadrato, la differenza risultante non è tale da compromettere l'esito della realizzazione.

La tabella 52 è un grafico che consente il calcolo rapido della sezione del nucleo (netta e lorda) di un trasformatore, in base alla potenza. L'uso è molto semplice. Il

TABELLA 52 — GRAFICO per il CALCOLO RAPIDO della SEZIONE NETTA e LORDA del NUCLEO di un TRASFORMATORE, in FUNZIONE della POTENZA

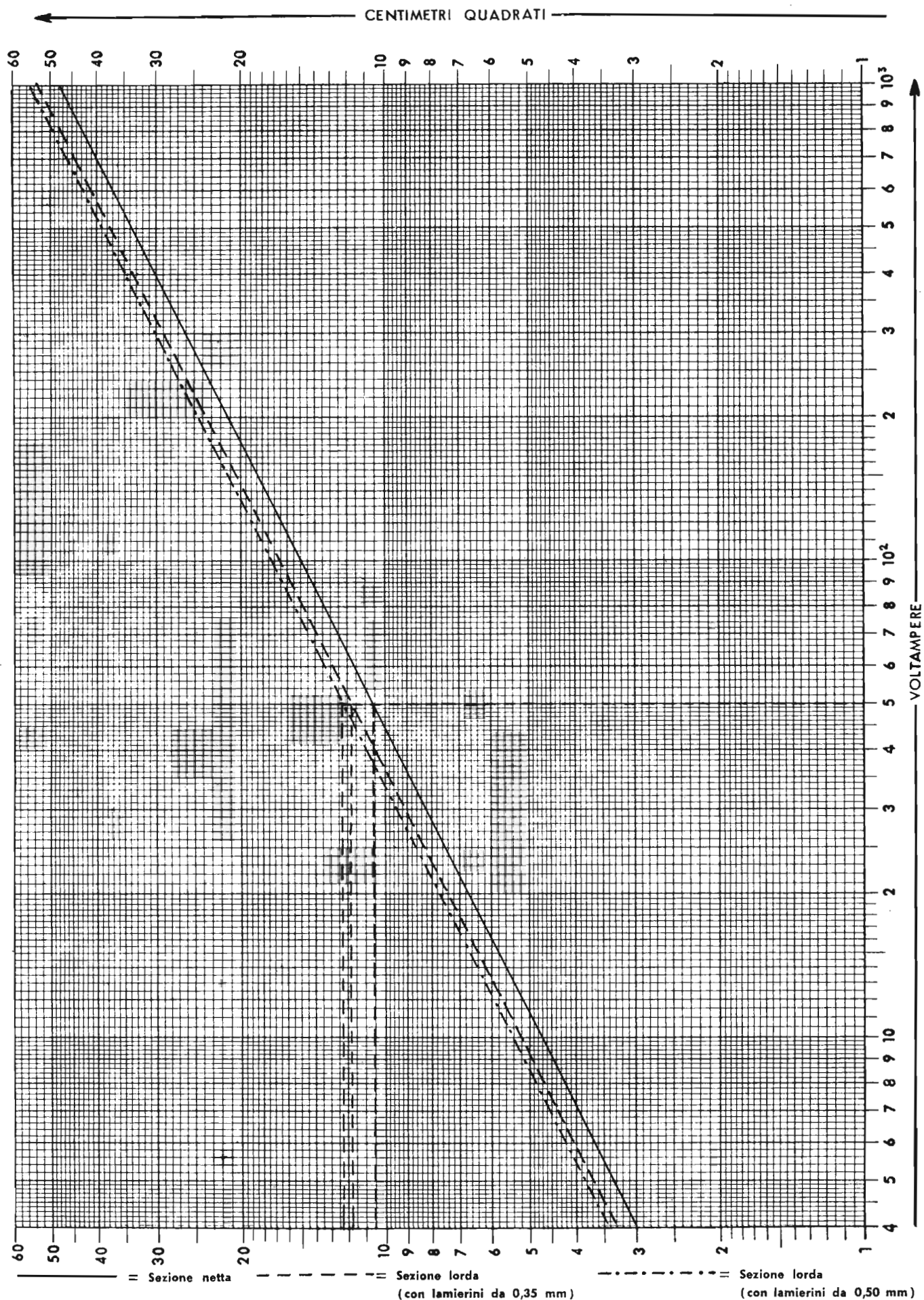
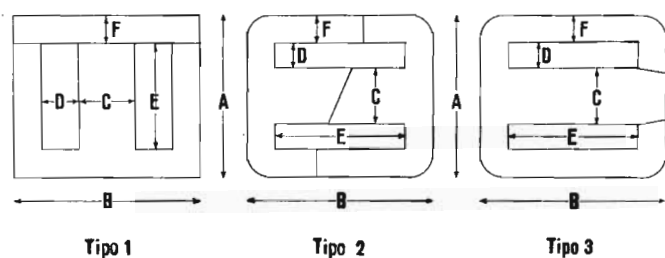



TABELLA 53 — DATI DIMENSIONALI dei LAMIERINI per TRASFORMATORI

Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3

Dimensioni in millimetri				
A B	**Tipo**	**C**	**D ed F**	**E**
32× 38	1	13	6,5	19
37× 44	1	14	7,5	22
40× 48	1	16	8,0	24
47× 57	1	19	9,5	28
50× 64	3	14	10,0	50
52× 67	3	16	16,0	38
54× 54	2 e 3	16	11,0	38
55× 66	1	22	11,0	33
55× 82	2	20	22,0	37
63× 76	1	25	13,0	38
70× 70	2 e 3	20	16,0	50
70×100	1	28	23,0	44
72× 92	2	27	18.0	43
76× 80	2	20	21,0	52
76× 80	3	20	21,0	58
76× 80	2 e 3	25	16,0	52
79× 94	1	32	16,0	47
80×100	1	28	21,0	52
82×105	2	30	22,0	52
84× 87	3	23	19,0	60
95×115	2	31	26,0	63
100×102	1	28	22,0	74
105×105	2 e 3	30	22,0	74
105×110	3	25	30,0	79
110×115	2	32	25,0	78
116×126	2	40	25,0	80
119×145	2	40	32,0	79
120×100	1	40	20,0	60
124×115	1	18	35,0	79
145×145	2	40	32,0	105
166×196	2	60	40,0	110
220×240	1	70	40,0	160
220×400	1	70	40,0	320

valore della potenza viene individuato sulla scala inferiore (voltampère). Dal punto corrispondente si alza una perpendicolare fino ad incontrare le rette inclinate presenti sul grafico. Dai punti di incontro si tracciano altrettante rette orizzontali, fino ad incontrare la scala verticale destra o sinistra (come risulta più comodo), sulla quale si leggerà la sezione direttamente in centimetri quadrati. La sezione lorda può essere calcolata sia con lamierini da 0,35 mm che con lamierini da 0,50 mm.

L'esempio riportato dimostra che con una potenza di 50 VA, occorre una sezione netta di 10,5 cm^2, una sezione lorda di 11,7 cm^2 con lamierino da 0,35 e di 12,3 cm^2 con lamierino da 0,50.

La tabella 53, quì a fianco riportata, elenca le dimensioni standardizzate dei lamierini più comuni adatti alla realizzazione di trasformatori di piccola potenza.

Il disegno riportato sopra alla tabella, consente di individuare le dimensioni elencate nei tre tipi più comuni. Non si è fatto cenno allo spessore, in quanto detti lamierini sono sempre disponibili nei due spessori di 0,35 e 0,50 mm.

Dovendo realizzare un trasformatore avente un nucleo di 10 cm^2 — ad esempio — si potranno calcolare le dimensioni di ingombro usando un lamierino da 76×80 (tipo 2). In tal caso, dal momento che la larghezza della colonna centrale (nucleo) « *C* » è di 25 mm, lo spessore del pacco dovrà essere di 4 cm (in tal caso si intendono 10 cm^2 di sezione lorda).

Le « *finestre* » nelle quali l'avvolgimento dovrà essere alloggiato avranno quindi le dimensioni di mm 21×52, (D×E).

Una volta nota quest'ultima dimensione, è possibile (come detto nel testo della lezione 38ª) verificare se l'ingombro totale dell'avvolgimento è tale da poter esservi contenuto.

La tabella 54 — riportata qui di fronte — elenca numerose caratteristiche elettriche e dimensionali relative ai conduttori di rame smaltato, nelle misure di diametro più comuni per gli impieghi in radiotecnica, vale a dire da 0,05 millimetri a 4 millimetri.

La grande utilità di questa tabella si rivela pienamente (e ciò abbiamo già visto nello svolgimento della lezione 38ª per il calcolo di un trasformatore tipico di alimentazione) allorchè ci si trova nella necessità di realizzare un qualsiasi avvolgimento, sia una bobina di induttanza per Alta Frequenza, sia le spire di un trasformatore, come si è detto, sia quelle di una impedenza. Si possono conoscere a priori, con buona approssimazione, gli ingombri e giudicare quindi se lo spazio a disposizione per l'avvolgimento è sufficiente.

A questo proposito facciamo rilevare che, per maggiore comodità, è stato riportato sia il numero delle spire che possono essere avvolte in un centimetro lineare, sia quello delle spire che possono essere avvolte in un centimetro quadrato. In tal caso, si intende il numero delle spire che compaiono su un centimetro quadrato della sezione dell'avvolgimento, ossia in una unità di superficie della sezione di un avvolgimento compatto, formato da strati sovrapposti.

Teoricamente, tale valore dovrebbe essere costituito dal quoziente tra 1 cm ed il diametro del conduttore,

TABELLA 54 — CARATTERISTICHE dei CONDUTTORI in RAME SMALTATO per AVVOLGIMENTI di BOBINE e TRASFORMATORI

Diam. filo mm	Sezione mm²	Spire per cm	Spire per cm²	Ohm per m	Metri per 10 ohm	Peso in g per 100 m	Lunghezza per 100 g m	Resistenza per 100 g ohm	Peso per 100 ohm	Corrente max in ampère		
										2,0 A per mm²	2,5 A per mm²	3,0 A per mm²
0,05	0,002	125,0	15.500	9,500	0,112	1,90	5.263,10	47.103,000	gr 0,210	0,004	0,005	0,006
0,06	0,003	113,0	13.450	6,310	0,161	2,70	3.703,70	22.995,000	» 0,430	0,005	0,007	0,008
0,07	0,004	100,0	10.000	4,560	0,219	3,70	2.702,70	12.159,000	» 0,780	0,007	0,010	0,011
0,08	0,005	86,0	7.200	3,500	0,286	4,90	2.040,82	7.140,000	» 1,400	0,010	0,013	0,015
0,09	0,006	78,0	6.150	2,760	0,362	6,00	1.666,67	4.498,000	» 2,170	0,012	0,016	0,019
0,10	0,008	72,0	5.200	2,220	0,452	7,70	1.298,70	2.881,000	» 3,450	0,016	0,020	0,023
0,11	0,009	67,0	4.560	1,840	0,543	9,00	1.111,11	2.044,000	» 4,850	0,020	0,024	0,028
0,12	0,011	61,0	3.740	1,550	0,645	10,60	943,39	1.461,000	» 6.750	0,022	0,029	0,035
0,15	0,018	50,0	2.500	0,990	1,010	16,70	598,80	597,000	» 16,800	0,035	0,046	0,052
0,18	0,025	42,0	1.765	0,685	1,460	23,50	425,53	297,000	» 34,200	0,055	0,066	0,080
0,20	0,032	38,0	1.400	0,657	1,795	29,50	338,98	186,000	» 53,650	0,063	0,081	0,095
0,22	0,038	35,7	1.225	0,460	2,174	35,50	281,69	129,250	» 77,000	0,075	0,099	0,115
0,25	0,049	31,0	960	0,357	2,801	45,50	219,78	78,900	» 127,000	0,096	0,125	0,150
0,28	0,062	28,5	790	0,285	3,509	57,00	175,43	49,000	» 200,000	0,125	0,160	0,180
0,30	0,071	26,0	670	0,248	4,032	66,50	150,37	37,500	» 260,000	0,140	0,175	0,210
0,32	0,080	24,5	600	0,218	4,587	74,00	135,13	29,700	» 375,000	0,160	0,198	0,240
0,35	0,096	23,0	530	0,182	5,495	91,00	109,89	19,620	» 500,000	0,195	0,250	0,290
0,38	0,113	21,7	475	0,154	6,494	103,50	97,08	14,550	» 670,000	0,225	0,285	0,340
0,40	0,126	20,0	400	0,139	7,199	116,00	86,20	12,240	» 825,000	0,250	0,310	0,380
0,45	0,159	18,5	350	0,110	9,091	147,00	68,02	7,480	kg 1,325	0,320	0,400	0,480
0,50	0,196	16,7	275	0,089	11,173	178,00	56,17	4,940	» 1.970	0,390	0,500	0,590
0,55	0,238	15,4	240	0,074	13,550	217,00	46,08	3,350	» 2.940	0,475	0,600	0,720
0,60	0,283	14,3	205	0,062	16.181	262,00	38,16	2,310	» [illegible]	0,566	0,700	0,850
0,65	0,332	13,3	160	0,053	18,904	300,00	33,33	1,710	» 5.670	0,660	0,830	1,000
0,70	0,385	12,3	155	0,046	21,978	360,00	27,77	1,260	» 7.884	0,775	1,000	1,150
0,75	0,442	11,6	135	0,040	25,189	403,00	24,81	1,000	» 10.040	0,885	1,110	1,330
0,80	0,503	10,9	118	0,035	28,736	460,00	21,73	0,710	» 13.202	1,000	1,250	1,500
0,85	0,567	10,3	105	0,031	32,363	515,00	19,41	0,580	» 16.634	1,130	1,410	1,700
0,90	0,636	9,7	96	0,028	36,364	580,00	17,24	0,460	» 21.054	1,270	1,600	1,920
0,95	0,709	9,3	86	0,025	40,323	650,00	15,38	0,360	» 26.195	1,420	1,750	2,130
1,00	0,785	8,5	72	0,022	44,843	715,00	13,98	0,310	» 31.808	1,570	1.960	2,360
1,20	1,131	7,5	56	0,016	64,516	1.040,00	9,61	0,140	» 67.080	2,250	2.850	3,400
1,40	1,539	6,5	43	0,011	87.719	1.410,00	7,09	0,080	» 123,657	3,080	3,850	4,620
1,50	1,767	6,0	36	0,010	100,806	1.615,00	6,21	0.060	» 161.000	3.530	4,400	5,280
1,80	2,545	5,4	29	0,007	144,928	2.320,00	4,31	0,030	» 334.080	5,000	6,350	7,650
2,00	3,142	4,9	23	0,006	178,571	2.850,00	3,50	0,020	» 507.300	6,280	7,860	9,400
2,50	4,909	3,9	15	0,004	277,778	4.450,00	2,24	0,008	» 1.113.976	9,850	10,300	14,700
3,00	7,069	3,3	10	0,003	400,000	6.580,00	1,51	0,003	» 2.632.000	14,400	17,700	21,200
4,00	12,566	2,6	6	0,001	714.422	9.650,00	1,03	0,001	» 6.893.960	25,400	31.500	37.700

ma in realtà esso è sempre inferiore in quanto la tabella tiene conto anche dello spessore dello smalto che riveste il conduttore.

Ovviamente, tale spessore è tanto maggiore quanto maggiore è il diametro del conduttore stesso.

Le varie colonne, ulteriori a quelle già citate, consentono di calcolare (con sufficiente approssimazione) la lunghezza in metri del filo necessario per eseguire un determinato avvolgimento, la sua resistenza ohmica, il peso (e quindi eventualmente il costo), l'ingombro generale, nonchè la corrente che può percorrere il conduttore. In riferimento a quest'ultimo valore, sono riportati tre dati che consentono di stabilire la scelta del filo in base alla massima intensità di corrente ammessa secondo tre diversi criteri costruttivi: 2 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti funzionanti 24 ore su 24): 2,5 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti che funzionano per diverse ore consecutive), e 3 A/mm² (nel caso di trasformatori o avvolgimenti destinati a funzionare ad intermittenza per qualche ora, alternando periodi analoghi di riposo).

TABELLA 55 — CARATTERISTICHE MECCANICHE ed ELETTRICHE dei TIPI di CARTA più COMUNI per ISOLAMENTO tra gli STRATI

Diametro filo di avvolg. mm	Tipo del materiale	Spessore del materiale mm	Tensione isolamento volt/strato
0,02÷0,10	carta pergam.	0,02	25
0,10÷0,20	carta pergam.	0,03	40
0,20÷0,50	carta pergam.	0,05	75
0,50÷1,00	carta larice	0,10	150
1,00÷oltre	carta larice (strati sovrap.)	0,15	220

	Tipo del materiale	Spessore del materiale mm	Tensione isolamento volt/strato
Isolamento tra avvolgimenti	Lateroid	0,20	400
	Lateroid	0,30	600
	Tela sterlingata	0,15	400
	Tela sterlingata	0,25	600

La tabella 55 elenca i tipi di carta più comuni con i quali vengono isolati tra loro gli strati degli avvolgimenti dei trasformatori, o i vari avvolgimenti tra loro.

I dati riportati consentono di stabilire sia l'isolamento effettivo, sia le dimensioni di ingombro. Noto infatti il numero degli strati di un avvolgimento (facilmente calcolabile mediante la tabella 54), dal momento che per ogni strato di conduttore ne occorre uno di carta (o più, a seconda delle tensioni in gioco), si potrà conoscere lo spessore totale della carta e calcolare così con buona precisione l'ingombro totale dell'avvolgimento.

Per l'isolamento tra vari avvolgimenti (ad esempio tra uno ad alta tensione ed uno a bassa tensione, o tra un avvolgimento realizzato con conduttore sottile, ed un altro realizzato con conduttore di notevole diametro), si preferisce generalmente adottare del cartoncino « *lateroid* », migliorando eventualmente la caratteristica di isolamento mediante tela sterlingata.

Il CODICE dei COLORI per i TERMINALI dei TRASFORMATORI

Per riconoscere rapidamente i vari terminali degli avvolgimenti di un trasformatore, sono stati creati dei codici speciali che quì riportiamo.

La **figura 1** illustra lo schema elettrico di un trasformatore, elencando anche i colori dei vari terminali in base al codice adottato dalla maggior parte dei fabbricanti americani.

È facile notare che il primario ha un terminale di inizio (0), e due prese. (110 e 220), corispondenti alle uniche due tensioni di « rete » disponibili in America. I secondari riportati sono quattro, ma possono essere anche in numero inferiore (raramente superiore). In ogni caso, uno dei secondari a bassa tensione (generalmente 5 volt), serve per l'accensione del filamento della valvola raddrizzatrice (vedremo presto di che cosa si tratta), mentre gli altri secondari possono essere adoperati per l'accensione di altre valvole, di lampade spia, ecc.

L'avvolgimento ad alta tensione, che fornisce la tensione « anodica » necessaria per il funzionamento delle valvole (anche di questo argomento ci occuperemo tra breve), è anch'esso facilmente riconoscibile.

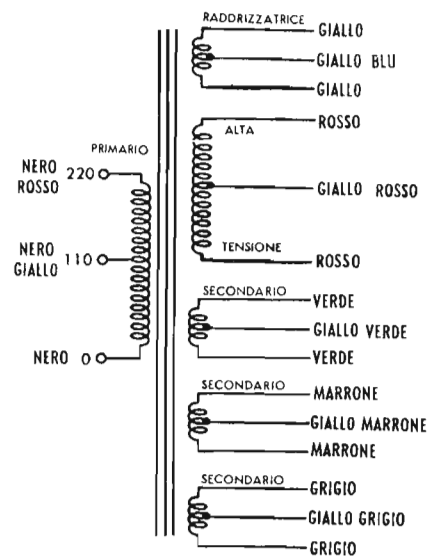



Figura 1

I colori elencati caratterizzano il materiale isolante (cotone o plastica) che riveste i terminali di uscita del trasformatore.

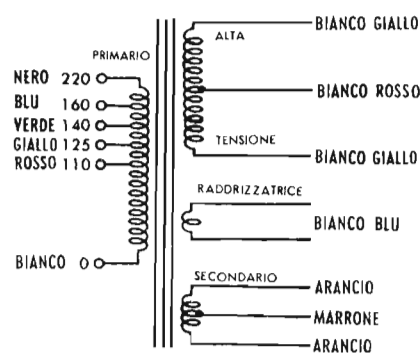



Figura 2

La **figura 2** elenca i colori adottati nei trasformatori di alimentazione prodotti dalla Fabbrica Italiana « *Geloso* ». Come si nota, l'avvolgimento primario è provvisto di diverse prese, corrispondenti alle varie tensioni (da 110 a 220 volt) disponibili sulle varie reti italiane di distribuzione dell'energia elettrica. Il numero dei secondari è limitato a tre, di cui uno per l'alta tensione, uno per il filamento della raddrizzatrice, ed uno per le valvole.

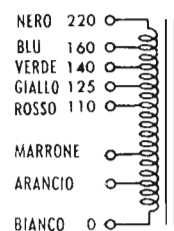



Figura 3

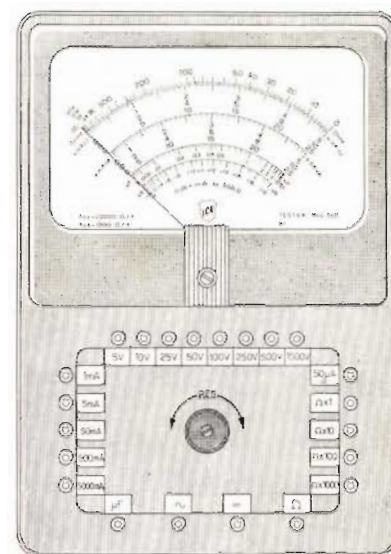
La **figura 3** rappresenta invece un « autotrasformatore » usato per l'alimentazione degli apparecchi radio di tipo economico. In tal caso, tutte le tensioni vengono ricavate da un unico avvolgimento, il quale (come vedremo in altra occasione) è avvolto con conduttori di varia sezione, a seconda delle intensità di corrente necessarie.

La costruzione di

NUOVI RADIORICEVITORI SEMPLICI

e di un

"TESTER"-CAPACIMETRO (20.000 ohm x volt)

costituiranno oggetto del prossimo fascicolo (N. 14), unitamente alla lezione teorica: IL RICEVITORE RADIO

Con il presente fascicolo (N. 13) scadono tutti gli abbonamenti di prova a suo tempo contratti. Come allora annunciato, gli abbonati interessati possono proseguire l'abbonamento versando la sola differenza necessaria nei confronti dell'abbonamento a 1/2 Corso o all'intero Corso, ossia:

Lire 1.700 *per abbonamento sino al* N. 26;

Lire 4.830 *per abbonamento sino al* N. 52.

Chiunque, non ancora abbonato, intenda iniziare dal prossimo fascicolo, può farlo versando l'importo di lire 5.070 per ricevere tutte le future lezioni, sino alla fine del Corso.

Ricordiamo che il nostro Conto Corrente Postale porta il N. 3/41203 ed è intestato: Corso di Radiotecnica - Via dei Pellegrini, 8/4 Milano.

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di qualche fascicolo, ne offriamo l'invio dietro rimessa - a mezzo vaglia - dell'importo di sole lire 150 per fascicolo.

È una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è realmente — da diverso tempo — la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE" - via dei Pellegrini N° 8/4

conto corr. postale: 3/4545 - Milano

Una copia - alle edicole - Lire 300

"RADIO e TELEVISIONE": la più utile - la più interessante - la più aggiornata - una grande rivista.

4 copie gratuite

Il fascicolo dicembre 1960 (N. 96) ora in vendita alle edicole sarà offerto in omaggio unitamente ai tre fascicoli precedenti (o ad altri da indicare) a coloro che invieranno la quota di abbonamento per i 12 Numeri del 1961: . . . Lire 3060.

Sconto 10 % agli abbonati al "Corso di Radiotecnica": . . Lire 2754.

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

Educational series

MODELLO

EK - 1

Voltmetro C.C. **5 portate**	0-5; 10; 50; 100; 500 Volt fondo scala
Milliamperometro C.C. **6 portate**	0-1; 5; 10; 50; 100; 500 mA fondo scala
Ohmmetro **2 portate**	100-200.000 ohm (1500 ohm centro scala) 10-2000 ohm (150 ohm centro scala)
Batteria	da 1,5 Volt
Strumento ad indice	da 56 mm; 1 mA 1000 ohm, classe 5% Custodia in plastica trasparente
Moltiplicatori	precisione 1%
Custodia	lunghezza 18,5 cm, altezza 11,7 cm, profondità 10,4 cm Rifiniture in colore grigio
Peso netto	Kg 1,12

Questo multimetro è munito di una lampadina spia al neon per la segnalazione di « ACCESO ».
Per la misura del grado di carica delle batterie per auto verrà impiegata la scala voltmetrica 10 Volt f.s. per le batterie da 6 Volt e la scala voltmetrica 50 Volt f.s. per le batterie da 12 Volt.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

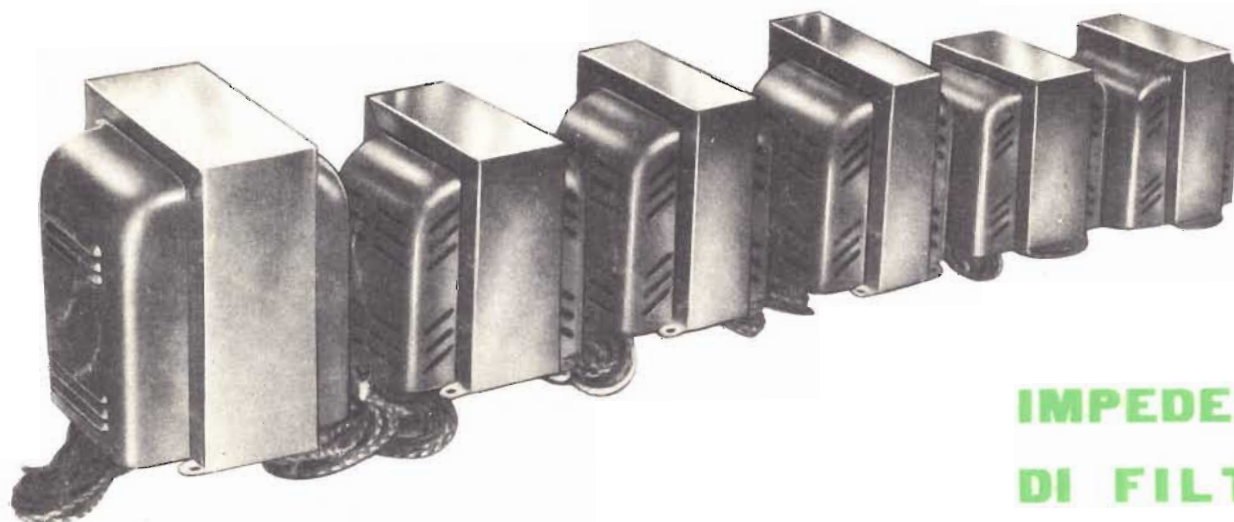
LARIR soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

TRASFORMATORI DI ALIMENTAZIONE

IMPEDENZE DI FILTRO

GELOSO

Chiedete il listino delle parti staccate ed il "BOLLETTINO TECNICO GELOSO"

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo